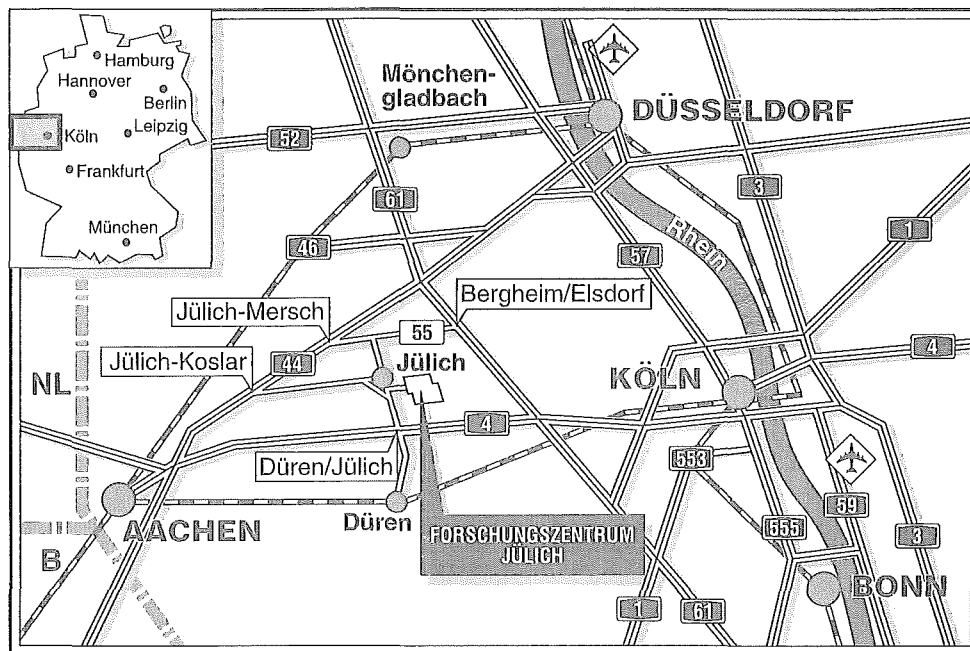


*Institut für Sicherheitsforschung
und Reaktortechnik*

Allgemeine Beschreibung des NOKO-Versuchsstandes

A. Schaffrath

H. Jaegers



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 3167

ISSN 0944-2952

Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik Jül-3167

Zu beziehen durch : Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek

D-52425 Jülich · Bundesrepublik Deutschland

Telefon : 02461/61-61 02 · Telefax : 02461/61-61 03 · Telex : 833556-70 kfa d

Allgemeine Beschreibung des NOKO-Versuchsstandes

A. Schaffrath¹⁾

H. Jaegers²⁾

1) Ruhr-Universität Bochum, Professur für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik, 44780 Bochum

2) Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik, 52425 Jülich

Abstract

The BWR600/1000 is a new innovative boiling water reactor concept which is being developed by Siemens. The concept is characterized in particular by passive safety systems (i.e. four emergency condensers, four building condensers, eight passive pressure pulse transmitters, six gravity-driven core flooding lines, eight rupture disks arranged in parallel to the relief valves and two scram systems).

For experimental investigations of the effectiveness of the emergency condenser the NOKO test facility has been constructed at the Forschungszentrum Jülich (KFA) GmbH. This project is sponsored by the BMBF and German Utilities.

The NOKO test facility has an operating pressure of 7.2 MPa and a maximum power of 4 MW for steam production. The emergency condenser consists of eight tubes and is fabricated with original geometries and materials of the BWR600/1000.

After finishing the emergency condenser test series several other components (e.g. building condensers and passive pressure pulse transmitters of the BWR600/1000) shall be tested in the NOKO test facility. Due to the multi-purpose design of the NOKO test facility only few reconstructions are necessary for other designs.

Kurzfassung

Der SWR600/1000 ist ein neues innovatives Siedewasserreaktorkonzept, das von der Siemens AG entwickelt wird. Dieses Konzept ist charakterisiert durch die Ergänzung der in den bestehenden Anlagen verwendeten aktiven Sicherheitssysteme durch passive Sicherheitssysteme (z.B. vier Notkondensatoren, vier Gebäudekondensatoren, acht passive Impulsgeber, sechs Flutleitungen, acht Berstmembrane und zwei Abschaltssysteme).

Zur Bestimmung der Notkondensatorleistung wurde von der Forschungszentrum Jülich (KFA) GmbH in Kooperation mit der Siemens AG (Bereich Energieerzeugung) und mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie und einigen Energieversorgungsunternehmen der NOKO-Versuchsstand aufgebaut.

Der NOKO-Versuchsstand kann bei Drücken bis zu 7.2 MPa betrieben werden. Der Elektrokessel, mit dem der Dampf erzeugt wird, besitzt eine max. Leistung von 4 MW. Im NOKO-Versuchsstand wird ein Originalausschnitt (gleiche Geometrie, gleicher Werkstoff) des Notkondensatorrohrbündels des SWR600/1000 getestet.

Zielsetzung der Experimente ist die Bestimmung der Notkondensatorleistung unter sämtlichen im SWR600/1000 zu erwartenden Einsatzbedingungen. Die Ergebnisse dienen der Validierung von Rechenprogrammen und zur Modell-erweiterung.

Im Anschluß an den Test des Notkondensators werden weitere Komponenten bzw. Sicherheitssysteme (z.B. Gebäudekondensator, passiver Impulsgeber) im NOKO-Versuchsstand getestet. Aufgrund der Flexibilität des Versuchsstandes sind hierzu nur kleine Umbauten erforderlich.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungen	IV
1 NOKO-Versuchsstand	1
2 Elektrokessel-Kreislauf	5
2.1 Elektrokessel	6
2.2 Separator	8
2.3 Mischer	9
2.4 Umwälzpumpe	10
2.5 Kesselspeisepumpe	10
2.6 Rohrleitungen	11
3 Druckgefäß und U-Rohrbündel	13
3.1 Druckgefäß	14
3.2 U-Rohrbündel	16
3.3 Rohrleitungen	18
4 Kondensatorbehälter	19
4.1 Kondensatorbehälter	20
4.2 Auffüllpumpe	22
4.3 Rohrleitungen	22

5 Abblasesystem	24
5.1 Abblasetank	25
5.2 Kühlwasserpumpe	25
5.3 Plattenwärmetauscher	26
6 Flußwasser-Kühlkreislauf	27
6.1 Kühlwasserschleife	27
6.2 Verteilerstation	28
6.3 Naßkühlturm	28
7 Steuerung und Regelung	29
7.1 Inbetriebnahme und Leistungsregelung des Elektrokessels	31
7.2 Füllstandregelung des Druckgefäßes	32
7.3 Füllstandregelung im Separator	33
7.4 Regelung der Einspeisewassermenge	33
7.5 Füllstandregelung des Kondensatorbehälters	34
7.6 Druckregelung im Primärsystem	34
7.7 Druckregelung im Kondensatorbehälter	34
8 Sicherheitseinrichtungen	35
9 Meßtechnik	37
9.1 Temperaturmessung	46
9.2 Druck- und Differenzdruckmessung	48
9.3 Durchflußmessung	49
9.4 Füllstandmessung	49
9.5 Leistungsmessung	50
10 Datenerfassung und -visualisierung	51
Literaturverzeichnis	53

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Bild 1: NOKO-Versuchsstand.	3
Bild 2: Elektrokessel-Kreislauf.	5
Bild 3: Elektrokessel-Heizrohr.	7
Bild 4: Separator.	8
Bild 5: Mischer	9
Bild 6: Druckgefäß, Elektrokessel und Kondensatorbehälter.	13
Bild 7: Druckgefäß.	15
Bild 8: U-Rohrbündel.	17
Bild 9: Leitbleche des U-Rohrbündels.	17
Bild 10: Kondensatorbehälter-Kühlkreislauf.	19
Bild 11: Kondensatorbehälter.	20
Bild 12: Rohrboden.	21
Bild 13: Abblasetank- und Rur-Kühlkreislauf.	24
Bild 14: Regelungen und Lage der Stellventile und Meßstellen des NOKO-Versuchsstandes.	30
Bild 15: Position der Thermoelementebenen im Kondensator- behälter.	47
Bild 16: Position der Thermoelemente in den Meßebenen.	47

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Meßstellenliste	38

Abkürzungen

P	Druck	T	Temperatur
PD	Differenzdruck	L	Füllstand
PEL	Elektr. Leistung	DTU	Unterkühlung
DN	Nenndurchmesser	PN	Nenndruck
HD	Hochdruck	ND	Niederdruck

BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
DIA/DAGO	Datenerfassungs- und Auswerte Software
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GfS	Gesellschaft für Strukturanalyse
HBM	Hottinger Baldwin Messtechnik
H&B	Hartmann & Braun
HP	Hewlett Packard
ISR	Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik
KFA	Forschungszentrum Jülich GmbH
SWR	Siedewasserreaktor
NOKO	Notkondensator

1 NOKO-Versuchsstand

Der NOKO-Versuchsstand (vgl. Bild 1) wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und den Energieversorgungsunternehmen (EVU's) geförderten Gemeinschaftsprojektes der Forschungszentrum Jülich (KFA) GmbH und der Siemens AG (Bereich Energieerzeugung) aufgebaut. Aufgrund seiner Leistung (4 MW), seines Betriebsdrucks (7.2 MPa) und seiner Flexibilität zählt NOKO zu den größten deutschen Thermohydraulik-Versuchsständen und wurde speziell für den Funktionstest von passiven Systemen und Komponenten entwickelt. Die erste Testserie, die Bestimmung der Notkondensatorleistung des von Siemens entwickelten innovativen passiven Siedewasserreaktors SWR600/1000, gab dem Versuchsstand seinerzeit seinen Namen [PAC-951]. Weitere Untersuchungen von passiven Komponenten (z.B. Gebäudekondensator, passiver Impulsgeber) sind zukünftig geplant [HIC-95].

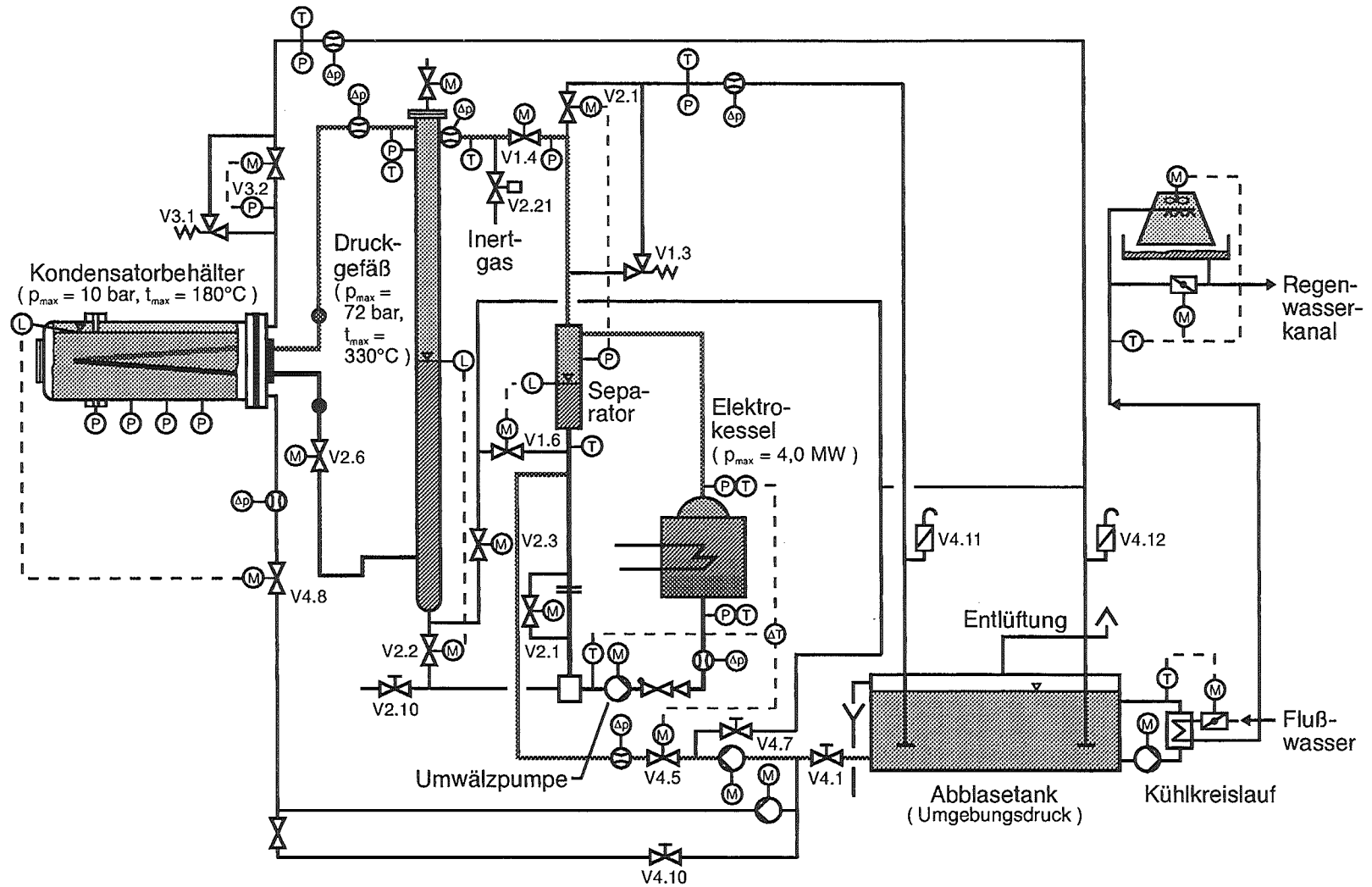
Ein wichtiges neues Element des innovativen SWR600/1000 Reaktorkonzeptes, speziell zur Beherrschung von Transientenstörfällen, sind die vier Notkondensatoren (Auslegungsspezifikation: 4 x 63 MW bei 7.0 MPa). Diese sind in dem geodätischen Flutbecken angeordnet und über die Kondensatorzulauf- und die Kondensatorablaufleitung mit dem Reaktordruckbehälter verbunden. Beide Leitungen sind nicht absperierbar.

In der NOKO-Versuchsanlage ist eine der vier Notkondensatorschleifen des SWR600/1000 nachgebildet. Das schlanke Druckgefäß dient zur Simulation des Reaktordruckgefäßes. Der elektrisch beheizte Dampferzeuger (max. Leistung 4 MW) simuliert die nukleare Nachwärmeerzeugung und der liegende Druckbehälter das geodätische Flutbecken. Die Notkondensatoren und das Druckgefäß bilden ein System kommunizierender Röhren. Bei Normalbetrieb sind die Notkondensatoren mit Wasser gefüllt. Mittels einer Zirkulationssperre wird im Normalbetrieb trotz offener Leitungsverbindung die Zirkulation des

Wassers verhindert und die Wärmeabfuhr an das Flutbecken minimiert. Erst mit Absinken des Füllstandes im Druckgefäß wird in den Notkondensatoren Wärmetauscherfläche freigelegt. Der nachströmende Dampf kondensiert an der gekühlten Oberfläche. Das Kondensat fließt aufgrund der Schwerkraft zum Druckgefäß zurück. Dominiert die Wärmeabfuhr in den Notkondensatoren gegenüber der Nachwärmeproduktion (bei sämtlichen Störfällen wird aufgrund des Ansprechens diverser Schutzkriterien die Reaktorschnellabschaltung ausgelöst) im Kern, sinkt der Systemdruck. Durch die in den Notkondensatoren übertragene Wärme wird das Wasser im Kondensatorbehälter aufgeheizt und nach Erreichen der Sättigungstemperatur verdampft. Der Dampf führt zu einem Druckaufbau im Kondensatorbehälter.

Der NOKO-Versuchsstand steht in einer der Versuchshallen des Institutes für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR) des Forschungszentrums Jülich. Die wichtigsten Anlagenteile (Druckgefäß, Separator, Kondensatorbehälter mit U-Rohrbündel, Warte) sind in Halle V des ISR angeordnet. Die übrigen Komponenten (z.B. Elektrokessel, Umwälzpumpe, Kesselspeisepumpe, Abblasetank) befinden sich in angrenzenden Nebenräumen. Der NOKO-Versuchsaufbau, der schematisch in Bild 1 skizziert ist, entspricht bezüglich der Anschlußhöhen der Kondensatorzulauf- und Kondensatorablaufleitung an das Druckgefäß den geplanten Verhältnissen im SWR600/1000 [PAC-952]. Die Geometrie des U-Rohrbündels und dessen Werkstoff (X 5 Cr Ni 18 10) wurden von den in Gundremmingen A eingebauten Notkondensatorbündeln übernommen. Die nukleare Wärmeerzeugung im Reaktor wird in der Versuchsanlage durch einen Elektrokessel simuliert. Dieser besitzt eine maximale Leistung von 4.0 MW. Die einzelnen Kreisläufe des Versuchsstandes sind im Druck abgestuft. Der Elektrokessel-Kreislauf, das Druckgefäß und der Notkondensator werden in einem Druckbereich zwischen 1 - 7 MPa betrieben. Im Kondensatorbehälter und dessen Kühlkreislauf können hingegen Drücke von 0.1 - 1 MPa und Temperaturen bis zur Sättigungstemperatur eingestellt werden. Der Abblasetank wird bei Umgebungsdruck betrieben.

Bild 1: NOKO-Versuchsstand.



Bei der nachfolgenden Beschreibung des Versuchsstandes wird dieser zunächst in funktionale Systeme unterteilt. Anschließend werden dann die Systeme und ihre Hauptkomponenten detailliert beschrieben. Gemäß der obigen Prinzipskizze des Versuchsstandes lassen sich unmittelbar die wichtigsten Systeme erkennen. Dies sind der Elektrokessel-Kreislauf (vgl. Kap. 2), das Druckgefäß und das U-Rohrbündel (vgl. Kap. 3), der Kondensatorbehälter (vgl. Kap. 4), der Abblasetank (vgl. Kap. 5) und der Flußwasser-Kühlkreislauf (vgl. Kap. 6). Weiterhin wird in diesem Bericht noch die Steuerung und Regelung der Versuchsanlage (vgl. Kap. 7), die Sicherheitseinrichtungen (vgl. Kap. 8), die Meßtechnik (vgl. Kap. 9) und die Datenerfassung und -visualisierung (vgl. Kap. 10) beschrieben.

2 Elektrokessel-Kreislauf

Der Elektrokessel-Kreislauf besteht aus den Komponenten Elektrokessel, Separator und Umwälzpumpe, deren Anordnung Bild 2 zu entnehmen ist. Der Elektrokessel dient zur Simulation der nuklearen Dampferzeugung im Reaktorkern. Er produziert Naßdampf, dessen Phasen in einem nachgeschalteten Separator getrennt werden. Während das Wasser über eine Umwälzpumpe zum Elektrokessel zurückfließt, wird der Dampf dem Druckgefäß zugeleitet. Nachfolgend werden nun die wichtigsten Komponenten des Elektrokessel-Kreislaufes und die Rohrleitungen einschließlich ihrer Einbauten detailliert beschrieben.

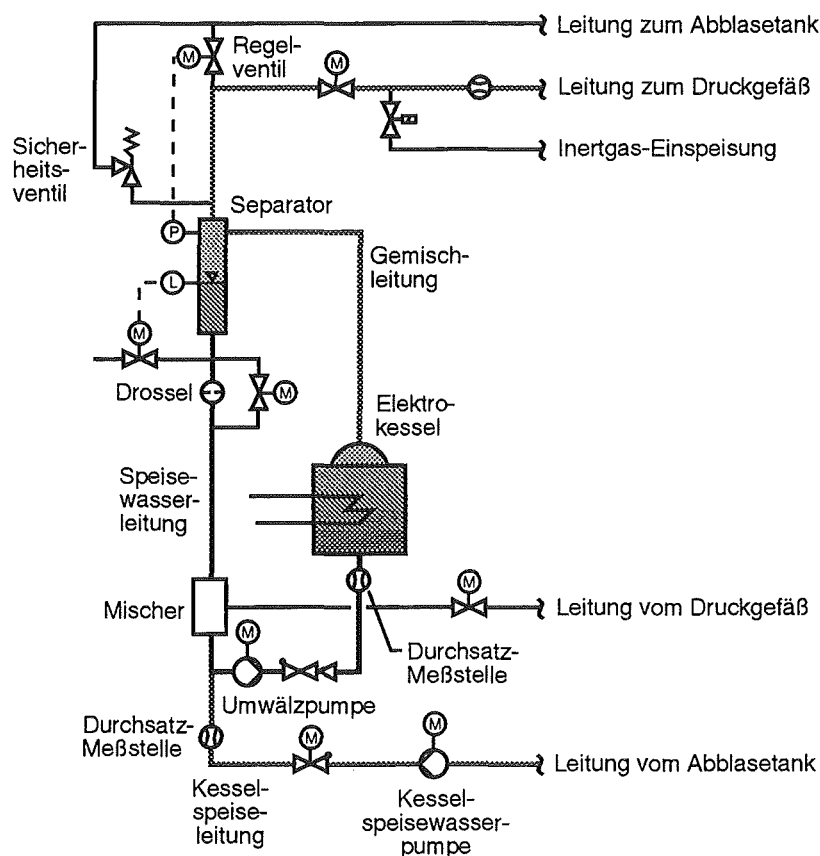


Bild 2: Elektrokessel-Kreislauf.

2.1 Elektrokessel

Zur Simulation der nuklearen Dampferzeugung wird im NOKO-Versuchsstand ein aus der HDR (Heiß-Dampf-Reaktor) Versuchsanlage in Großwelzheim übernommener Zwangsdurchlauf-Elektrokessel mit einer stufenweise einstellbaren Leistung von 1.35 - 4.0 MW verwendet. Die detaillierten Leistungswerte der einzelnen Leistungsstufen sind in Kap. 7.1 angegeben.

Der Elektrokessel besitzt 24 parallelgeschaltete Heizrohre aus Edelstahl (vgl. Bild 3) mit einer Länge von je ca. 20 m, einem Innendurchmesser von 16 mm und einer Wandstärke von 2 mm. Die Heizrohre wiegen leer ca. 0.5 t und besitzen ein Fluidvolumen von 0.1 m³. Die Heizrohre sind auf einen Ein- und Austrittssammler geführt. Beide Sammler sind ca. 2 m lang und besitzen einen Innendurchmesser von 80 mm und eine Wandstärke von 20 mm.

Damit sämtliche Heizrohre gleichmäßig mit Speisewasser (Deionat) beaufschlagt werden, sind in die Verschraubung am Eintritt der Heizrohre Drosseln eingebaut, die unter Betriebsbedingungen einen Druckabfall von ca. 18 bar liefern. Jedes Heizrohr besitzt eine zweifache Temperaturüberwachung. Hierzu sind zwei Thermoelemente an jedem Rohr angebracht. Weiterhin besitzt der Kessel eine Durchflußüberwachung (Messung der Druckdifferenz zwischen dem Ein- und Austrittssammler) und je eine Absolutdruckmessung im Ein- und Austrittssammler. Bei Heizrohraußentemperaturen oberhalb 350 °C, bei geringen Durchflüssen, d.h. Druckdifferenzen über den Sammlern von kleiner 1 MPa und bei Drücken im Eintrittssammler oberhalb 8.6 MPa erfolgt eine automatische Unterbrechung der Stromversorgung.

Die Heizrohre des Elektrokessels werden im direkten Stromdurchgang beheizt. Den hierzu erforderlichen Strom liefert ein 6 kV Dreiphasen-Transformator mit Stufenschalter, der über einem Ölkreislauf gekühlt wird, und über einen separaten, in einer Beton-Fertigstation untergebrachten 10 kV / 6 kV Trafo mit dem KFA-Netz verbunden ist.

Die elektrische Verbindung der Heizrohre mit dem Transformator ist mit Kupferschienen ausgeführt, die über Litzen mit den an den Heizrohren angelöteten Kupferfahnen verbunden sind. Eine Berührung der Rohre untereinander wird im Elektrokessel durch Abstandshalter verhindert. Weiterhin sind sämtliche Heizrohre mit einem Berührungsschutz aus Aluminiumblech umgeben. Ein über der Dachverkleidung des Elektrokessels befindlicher Abluftkanal führt die erwärmte Luft aus dem Kessel an die Umgebung ab.

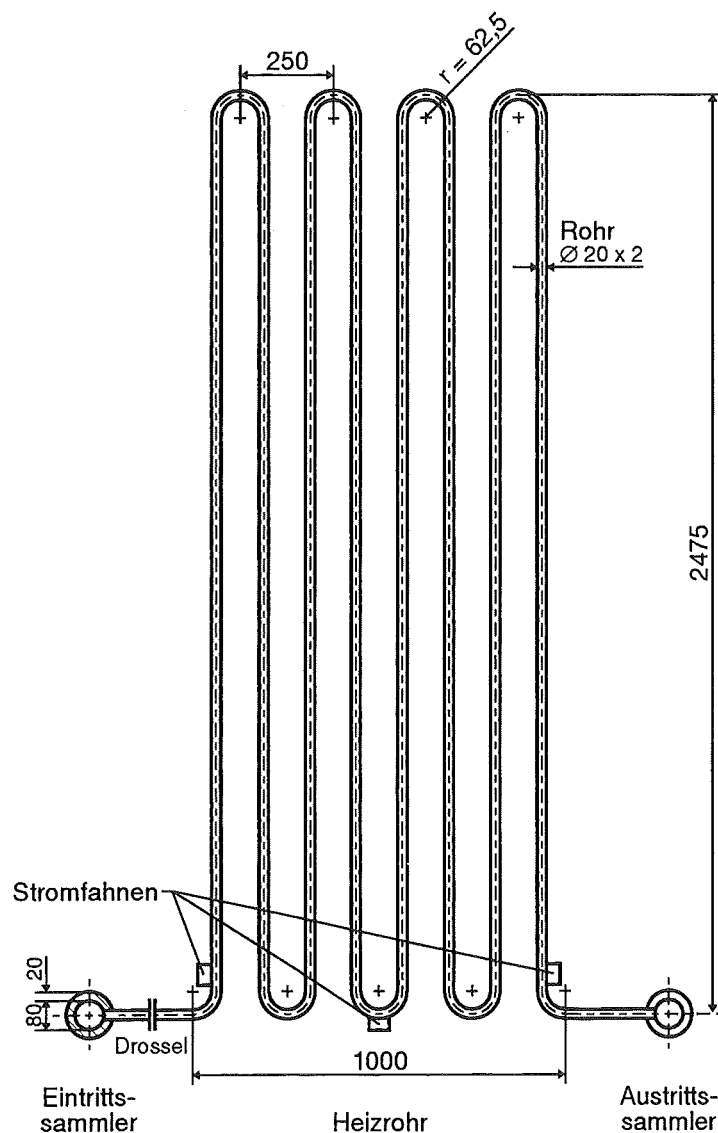


Bild 3: Ein Heizrohr des Elektrokessels.

2.2 Separator

Der stehend angeordnete Separator (vgl. Bild 4) trennt die Phasen des aus dem Elektrokessel austretenden Naßdampfes. Der Separator besteht aus einem zylindrischen Behälter mit flachen Böden. Er besitzt eine Länge von 2.7 m, einen Nenndurchmesser von ca. 0.5 m und faßt ein Volumen von ca. 0.5 m³. Der Separator wiegt leer ca. 1.2 t ist mit aluminiumkaschierten ISOVER Matten (Dicke 100 mm) und einem verzinkten Blechmantel (Dicke 0.88 mm) isoliert.

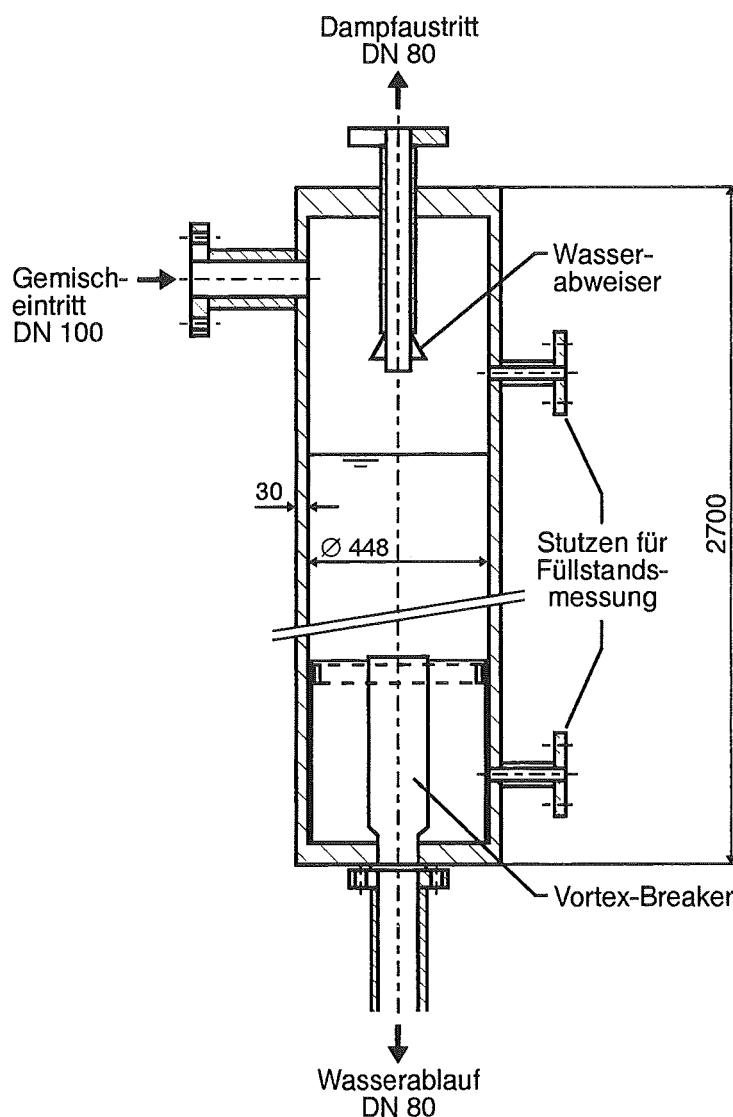


Bild 4: Separator.

Das Wasser-Dampf-Gemisch tritt durch einen tangential im oberen Behälterbereich angeordneten Stutzen in den Separator ein. Der Dampf wird durch ein zylindrisches Tauchrohr nach oben abgeführt. Das Tauchrohr ist am Dampfeintritt mit einem Wasserabweiser versehen. Dieser verhindert, daß am Tauchrohr ablaufendes Wasser mit dem Dampf mitgerissen wird. Das Wasser hingegen fließt über einen im Boden befindlichen Ablauf wieder zur Umwälzpumpe zurück. Zur Brechung des Dralls ist im unteren Bereich des Separators ein Vortex-Breaker eingebaut. Sämtliche Daten der am Separator angeschlossenen Leitungen sind Kap. 2.6 zu entnehmen.

2.3 Mischer

Der Mischer (vgl. Bild 5) besitzt eine Länge von 375 mm und besteht aus zwei konzentrisch ineinander geschweißten Rohrstücken. Über das innenliegende Rohrstück mit einem Innendurchmesser von 60 mm wird das Kondensat aus dem Druckgefäß in den Elektrokessel-Kreislauf geleitet. Hierzu ist das am Ende verschlossene Rohrstück am Umfang mit 24 Bohrungen mit einem Durchmesser von je 10 mm versehen. Durch das außenliegende Rohr hingegen strömt das Speisewasser. Es besitzt einen Innendurchmesser von 89 mm und ist die druckführende Außenwand des Mixers.

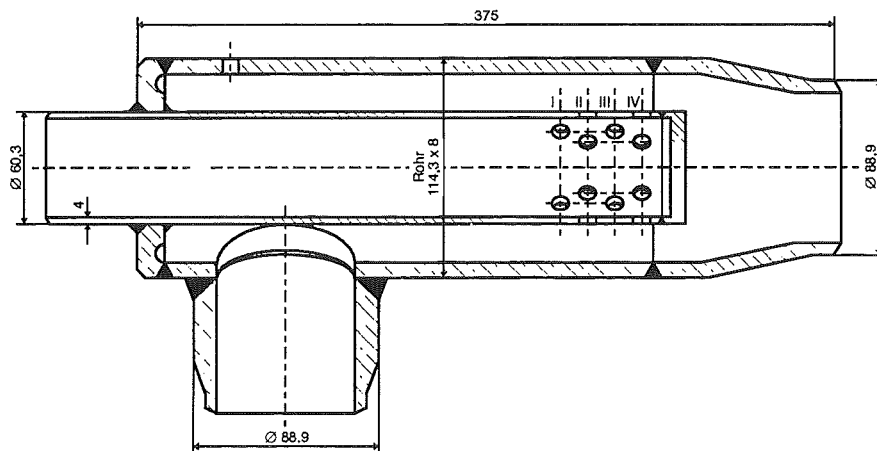


Bild 5: Mischer

2.4 Umwälzpumpe

Die im NOKO-Versuchsstand eingesetzte Umwälzpumpe dient zur Umwälzung des Wassers im Elektrokessel-Kreislauf. Sie befindet sich in der Speisewasserleitung hinter dem Mischer, an den die Kondensatrücklaufleitung an den Elektrokessel-Kreislauf anschließt. Da das Wasser aus dem Separator gesättigt ist, wird zur Vermeidung von Kavitation in der Umwälzpumpe kaltes Wasser aus dem Abblasetank in den Elektrokessel-Kreislauf gefördert. Die Umwälzpumpe ist eine Heißwasserpumpe mit Gleitringdichtung und wird von einem Elektromotor mit einer Nennleistung von 110 kW angetrieben. Der Motor ist mit der Pumpe über ein 1-stufiges Getriebe verbunden. Die Pumpe besitzt die folgende Daten:

Hersteller	KSB,
Type	HPH 50-400,
Gewicht	2.5 t,
Förderleistung	41.5 m ³ / h,
maximaler Druck	92 bar,
Förderdruck	25 bar,
Temperatur	308 °C,
Antriebsleistung	110 kW,
Drehzahl	3600 U / min.

2.5 Kesselspeisepumpe

Die Kesselspeisepumpe ersetzt den über das Regelventil in der Dampfleitung abgeblasenen Dampf. Die 13-stufige drehzahlgeregelte Pumpe ist über ein Getriebe (Übersetzung 1 :0.2676) mit dem Antriebsmotor verbunden. Weitere Daten der Kesselspeisepumpe sind:

Hersteller	KSB,
------------	------

Type	HDB / 40 / 13,
Gewicht	ca. 3.5 t,
Förderleistung	15 m ³ / h,
Förderdruck	143 bar,
Drehzahl	5500 U / min,
Antriebsleistung	151 kW.

2.6 Rohrleitungen

Die Komponenten des Elektrokessel-Kreislaufes sind über zwei Rohrleitungen miteinander verbunden. Dies sind zum einen die Gemischleitung und zum anderen die Speisewasserleitung. Zwei weitere Leitungen (Dampf- und Kondensatrücklaufleitung) verbinden den Elektrokessel-Kreislauf mit dem Druckgefäß. Darüber hinaus schließt an die Speisewasserleitung die Kesselspeiseleitung an.

Die Gemischleitung verbindet den Austrittssammler des Elektrokessels mit dem Separator und ist in Nennweite 100 mm ausgeführt. Die Speisewasserleitung hingegen besitzt die Nennweite 80 mm. Kurz hinter dem Wasserablauf des Separators befindet sich die Einspeisestelle für das Wasser aus dem Abblasetank und eine, mittels eines Bypasses mit Nennweite 60 mm umfahrbare Drossel mit der Nennweite 26 mm. Es folgen ein Mischer, mit dem die Kondensatrücklaufleitung an den Elektrokessel-Kreislauf angebunden ist, und die Umwälzpumpe. Im Eintrittsammler des Elektrokessels ist weiterhin ein Sieb (Drahtdurchmesser 0.56 mm, Maschenweite 1 mm) angeordnet. Dieses ist mittels eines, mit 1200 Bohrungen (Durchmesser 2.5 mm) versehenen Stützrohres (Länge 0.41 m Länge, Durchmesser von 66.2 mm) im Eintrittsammler angebracht.

Eine Dampfleitung mit Nennweite 80 mm verbindet den Separator mit dem Druckgefäß. Von dieser verzweigt eine Abblaseleitung zum Abblasetank, durch

die bei unzulässig hohen Drücken im Primärsystem Dampf über das Sicherheitsventil bzw. zur Druckregelung im Primärsystem über das Regelventil abgelassen wird. Weiterhin schließt an das Druckgefäß eine Inertgas-Einspeiseeinrichtung an. Durch eine Rücklaufleitung gelangt das Kondensat aus dem Druckgefäß wieder in den Elektrokessel-Kreislauf.

Über die Kesselspeiseleitung wird kaltes Wasser aus dem Abblasetank in die Speisewasserleitung unmittelbar hinter dem Separator eingespeist. Die am Abblasetank (vgl. Kap. 5.1) beginnende Leitung besitzt zunächst die Nennweite 80 mm und verzweigt dann zur Auffüllpumpe (vgl. Kap. 4.2) und zur Kesselspeisepumpe. Ab dieser Verzweigung ist die Kesselspeiseleitung in der Nennweite 30 mm ausgeführt. Hinter der Kesselspeisepumpe befindet sich noch ein Feinfilter und eine Durchflußmeßstelle.

Sämtliche Rohrleitungen und Komponenten des Elektrokessel-Kreislaufes sind bis auf die Pumpen aus Edelstahl gefertigt und bis auf die Kesselspeise- und die Auffülleitung mit aluminiumkaschierten ISOVER-Matten (Dicke 100 mm) isoliert.

3 Druckgefäß und U-Rohrbündel

Der im Elektrokessel-Kreislauf produzierte Dampf wird über die Dampfleitung dem Druckgefäß und von dort dem U-Rohrbündel zugeführt (vgl. Bild 6). Das Druckgefäß dient im Experiment zur Einstellung der Füllstandrandbedingung, d.h. der primärseitigen Freilegung des U-Rohrbündels. Hierzu muß das in der Kondensatorablaufleitung befindliche Ventil geöffnet sein. Nachfolgend werden nun die beiden Komponenten Druckgefäß und U-Rohrbündel und die sie verbindenden Rohrleitungen beschrieben.

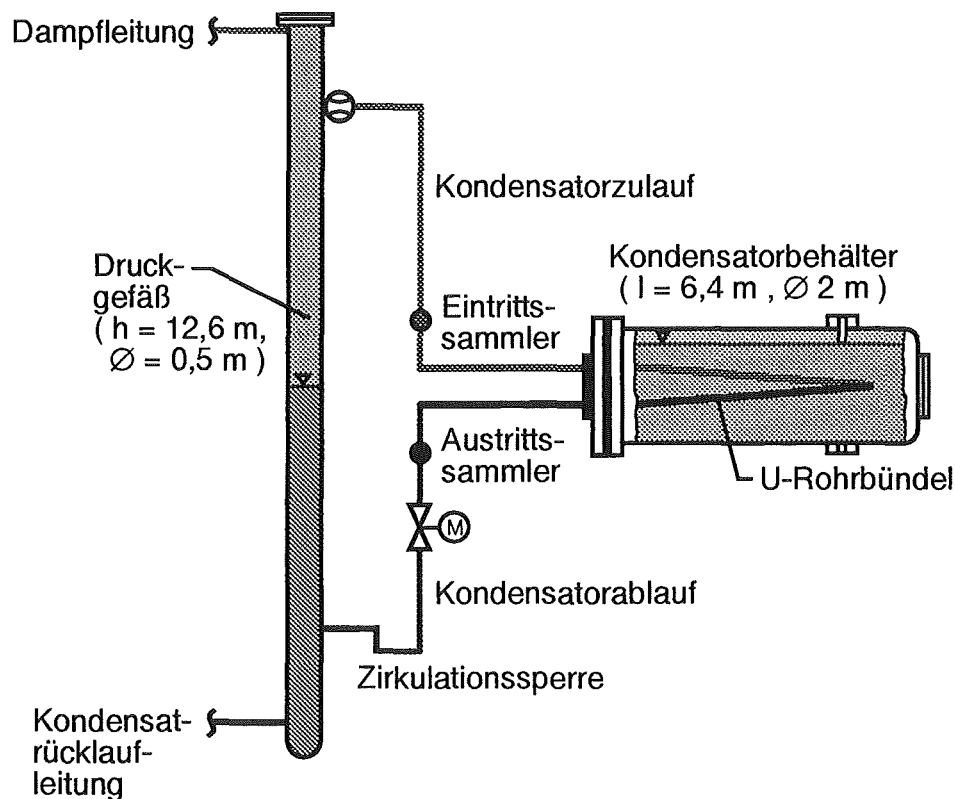


Bild 6: Druckgefäß, U-Rohrbündel und Kondensatorbehälter.

3.1 Druckgefäß

Das Druckgefäß (vgl. Bild 7) dient im Experiment zur Variation des Wasserspiegels zwischen den Anschlußhöhen des Kondensatorzu- und -ablaufes. Es ist ein schlanker, stehender Behälter mit einem Innendurchmesser von 0.448 m, einer Wandstärke von 30 mm und einer Höhe von 12.6 m. Das Druckgefäß wiegt leer ca. 6 t und besitzt ein Volumen von 1.9 m³. Zur Stabilisierung und zur Einleitung der auftretenden Lasten in den Hallenboden ist das Druckgefäß mit einer Standzarge versehen.

Über der Höhe weist das Druckgefäß verschiedene Anschlußstutzen für die Verbindung zum Elektrokessel-Kreislauf (Dampfzufuhr in Nennweite 80 mm, Kondensatrücklauf in Nennweite 50 mm), den Kondensatorzu- (Nennweite 100 mm) und -ablauf (Nennweite 65 mm) und die Meßinstrumentierung auf. Die Kondensatrücklaufstutzen sind in Abständen von 800 bzw. 400 mm zueinander angeordnet. Weiterhin sind die Thermoelemente mittels ERMETO-Anschweißverschraubungen (EO-AS12) mit einem Rohraußendurchmesser von 12 mm im Druckgefäß angeordnet. Der vertikale Abstand zwischen zwei ERMETO-Verschraubungen beträgt in der Regel 1 m. Abweichungen von dieser Anordnung resultieren aus der Position der Arbeitsbühnen. Die Anschlußstutzen für die Füllstandmessung im Druckgefäß besitzen die Nennweite 25 mm. Der Meßbereich beträgt 10.2 m. Dies entspricht der Höhendifferenz der Anschlußstutzen.

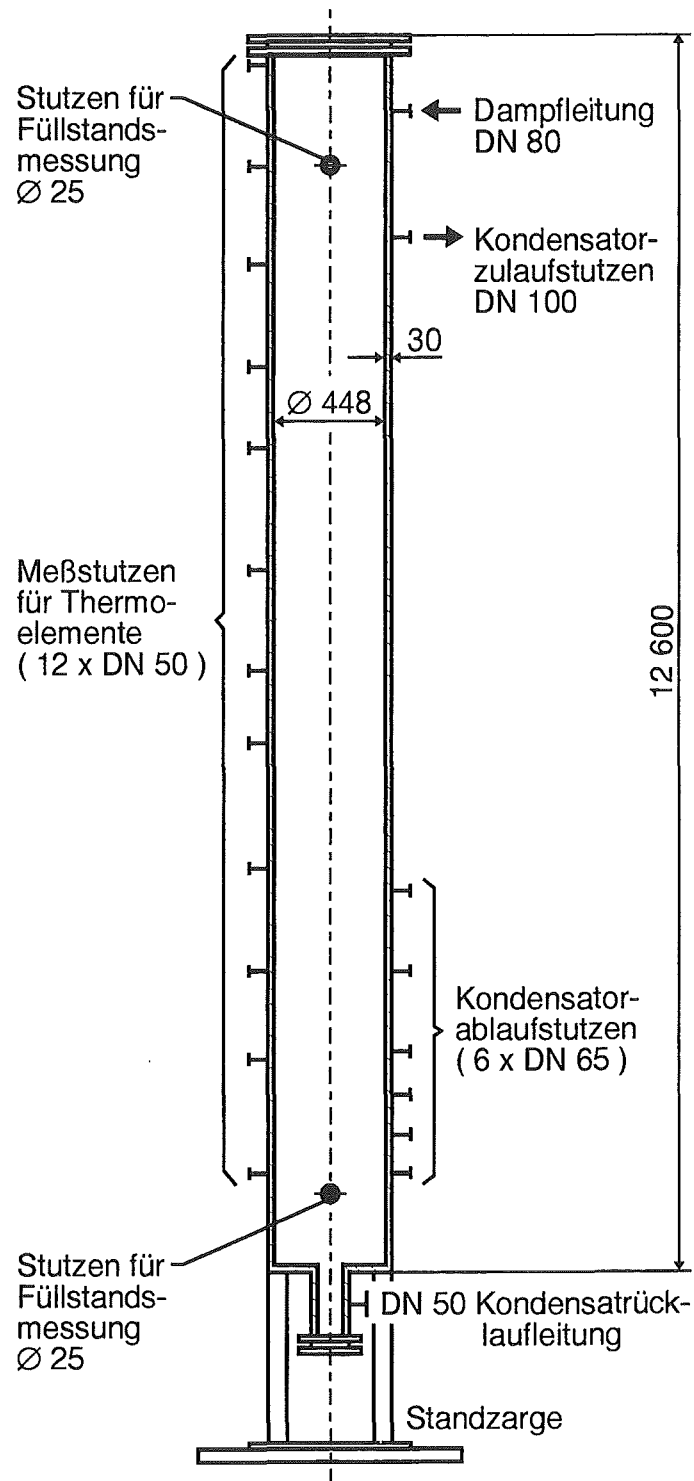


Bild 7: Druckgefäß.

3.2 U-Rohrbündel

Das U-Rohrbündel, ein Ausschnitt des aktuell für den SWR600/1000 vorgesehenen Notkondensatorrohrbündels, ist die zu testende Komponente im NOKO-Versuchsstand. Die Geometrie und der Werkstoff wurden hierbei von dem U-Rohrbündel des Notkondensators in Gundremmingen A übernommen. Mittels Reduzierung der Rohranzahl wurde die Leistung des Notkondensatorbündels an die des Elektrokessels angepaßt. Die Rohre des Bündels sind zu Beginn und am Ende auf Sammler geführt, die wiederum über die Kondensatorzu- und -ablaufleitung mit dem Druckgefäß verbunden sind. Der Eintrittsammler besitzt eine Länge von 0.6 m und der Austrittsammler von 0.845 m. Durchmesser (187.1 mm) und Wandstärke (16 mm) stimmen bei beiden Sammlern überein.

Das U-Rohrbündel besteht aus 8, im Mittel 9.8 m langen leicht gegenüber der Horizontalen geneigten Rohren mit einem Innendurchmesser von 37.8 mm, die in einen Rohrboden eingeschweißt sind (vgl. Bild 8). Das Fluidvolumen des Rohrbündels beträgt ca. 0.12 m³. Oberhalb des Austrittsammlers sind in den U-Rohren Flanschverbindungen vorgesehen, zwischen die alternativ gelochte oder ungelochte Steckscheiben eingebracht sind. Die einzelnen U-Rohre können wahlweise abgesperrt werden. Der Rohrboden wird wiederum in den in Kap. 4.1 beschriebenen Kondensatorbehälter eingesetzt.

Das gesamte U-Rohrbündel ist von Leitblechen (vgl. Bild 9) umgeben, die für eine vertikale Wasserführung im Kondensatorbehälter sorgen. Da auch die Position der Leitbleche variiert werden kann, ist somit auch eine Variation der abgegrenzten Rohranzahl im Experiment möglich.

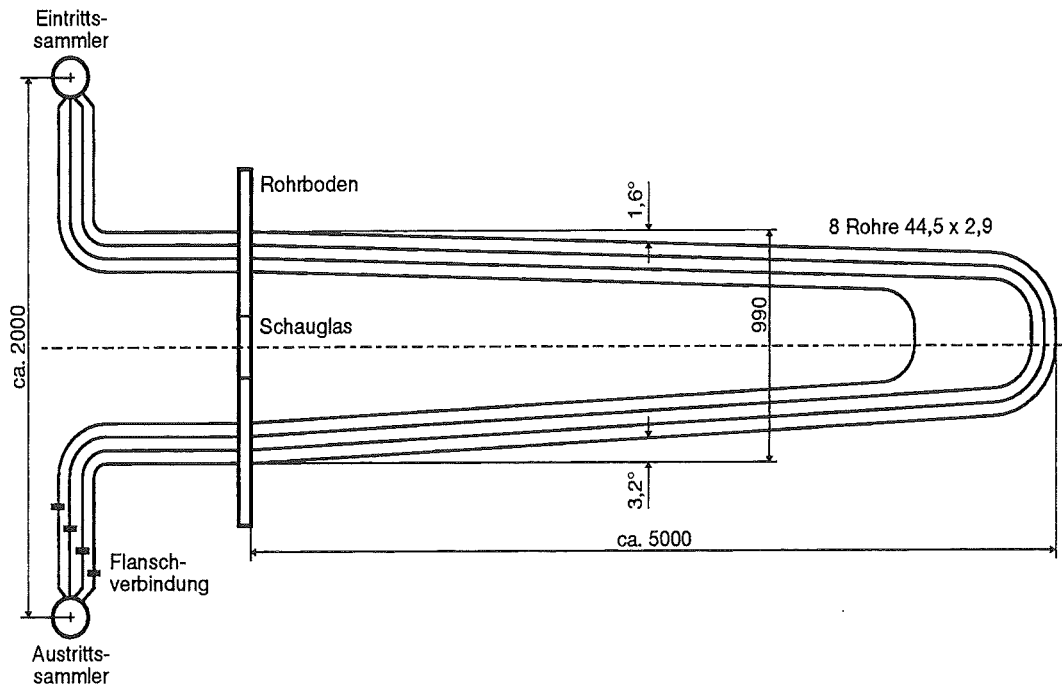


Bild 8: U-Rohrbündel.

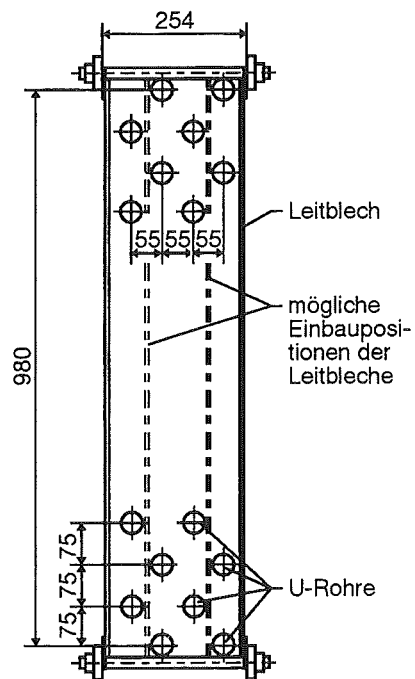


Bild 9: Leitbleche des U-Rohr-Bündels.

3.3 Rohrleitungen

Nachfolgend werden nun die Kondensatorzu- und -ablaufleitung beschrieben. Die Kondensatorzulaufleitung verbindet den Eintrittssammler des U-Rohrbündels mit dem Druckgefäß und besitzt die Nennweite 100 mm. Im Anschlußstutzen der Kondensatorzulaufleitung am Druckgefäß befindet sich zur Bestimmung des Dampfmassenstromes eine Meßdüse.

Das Kondensat fließt über die am Austrittssammler anschließende Kondensatablaufleitung mit Nennweite 65 mm zum Druckgefäß zurück. In dieser Leitung befindet sich ein Kugelventil. Mit Öffnen des Ventils wird der jeweilige Versuch eingeleitet. Kurz vor Anschluß der Kondensatorablaufleitung an das Druckgefäß befindet sich eine Zirkulationssperre, die im Betrieb des SWR600/1000 die Zirkulation des Wassers verhindern und somit die Wärmeverluste minimieren soll. Die Kondensatablaufleitung kann mittels verschiedener Ausgleichstücke in verschiedenen Höhen am Druckgefäß angeschlossen werden (vgl. Kap. 3.1).

Sämtliche Rohrleitungen und Komponenten dieses Kreislaufes bestehen aus Edelstahl und sind mit aluminiumkaschierten ISOVER-Matten (Dicke 100 mm) isoliert. Das Druckgefäß ist darüber hinaus zusätzlich mit einem verzinkten Blechmantel (Dicke 0.88 mm) verkleidet.

4 Kondensatorbehälter

Im Kondensatorbehälter ist das Notkondensatorrohrbündel angeordnet. Der Kondensatorbehälter enthält weiterhin Kühlwasser, an das die bei der Kondensation des Dampfes und Unterkühlung des Kondensats im U-Rohrbündel freierwerdende Wärme, übertragen wird. Das Wasser wärmt sich bis auf Sättigungsbedingungen auf und verdampft dann. Der Dampf wird über eine Abblasseleitung in den Abblasetank geleitet und hier kondensiert. Je nach Fahrweise des Versuchs wird nun das verdampfte Wasser durch kaltes aus dem Abblasetank ersetzt oder man läßt das Wasser auf der Sekundärseite des U-Rohrbündels ausdampfen.

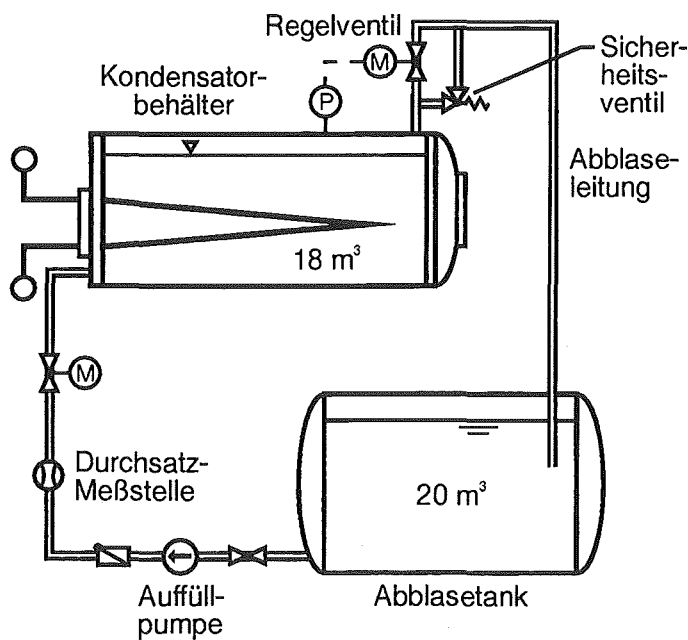


Bild 10: Kondensatorbehälter-Kühlkreislauf.

In den nun folgenden Kapiteln werden der Kondensatorbehälter, die Auffüllpumpe und die zu diesem System gehörenden Rohrleitungen (Dampfableitung und Auffüllleitung des Kondensatorbehälters) beschrieben (vgl. Bild 10). Auf den ebenfalls zu diesem Kreislauf gehörenden Abblasetank wird in einem eigenen Unterkapitel (vgl. Kap. 5) noch ausführlich eingegangen.

4.1 Kondensatorbehälter

Der Kondensatorbehälter (vgl. Bild 11) ist ein liegender zylindrischer Behälter aus ferritischem Stahl (Durchmesser von 2 m, Länge von ca. 6.4 m, Volumen ca. 18 m³, Leergewicht von ca. 55 t) und für Drücke bis 1.0 MPa und Temperaturen bis 200 °C ausgelegt. Weiterhin wurde der Behälter zum Schutz vor Korrosion innen mit dem temperaturbeständigen Kunststoff XYVADUR 569 (Schichtdicke von 300 µm) beschichtet. Der Kunststoff ist bis zu 200 °C temperaturbeständig.

Der Kondensatorbehälter simuliert im Versuchsstand das geodätische Flutbecken des SWR600/1000, in dem die vier Notkondensatorrohrbündel angeordnet sind. Die Auslegung des Kondensatorbehälters erlaubt die Einstellung der Druck- und Temperaturbedingungen im Wasser der Sekundärseite, die im SWR600/1000 nach mehrtägigem Einsatz des Notkondensators im geodätischen Flutbecken vorliegen.

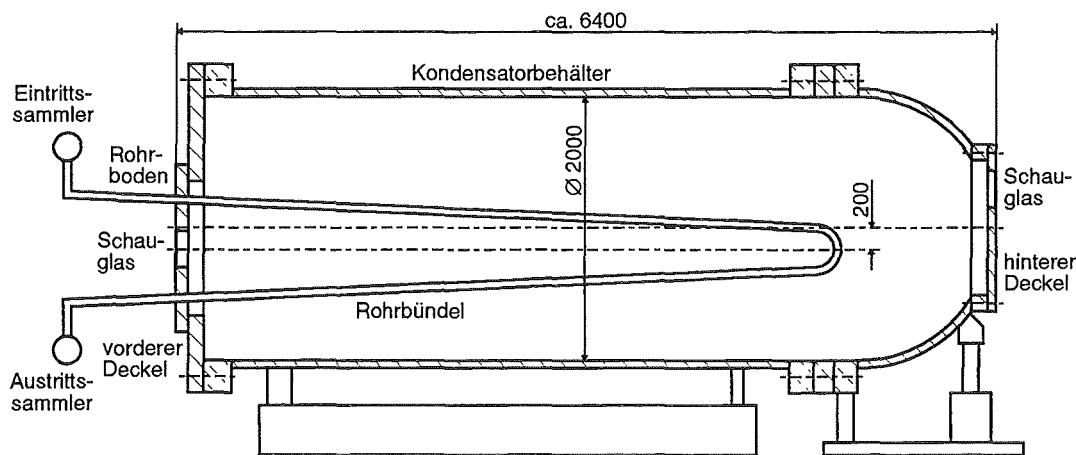


Bild 11: Kondensatorbehälter.

Am vorderen Ende ist der Kondensatorbehälter mit einem Deckel versehen, der einen Ausschnitt zur Aufnahme des Rohrbodens (vgl. Bild 12) und des hierin eingeschweißten U-Rohrbündels enthält. Rohrboden und U-Rohrbündel kön-

nen im drucklosen und entleerten Zustand des Kondensatorbehälters ausgebaut werden. Nach Aufheizen des Wassers im Kondensatorbehälter bis auf Sättigungszustand kann bei den Versuchen mit Ausdampfung der Sekundärseite das verdampfende Wasser durch kaltes Wasser aus dem Abblasetank ersetzt werden.

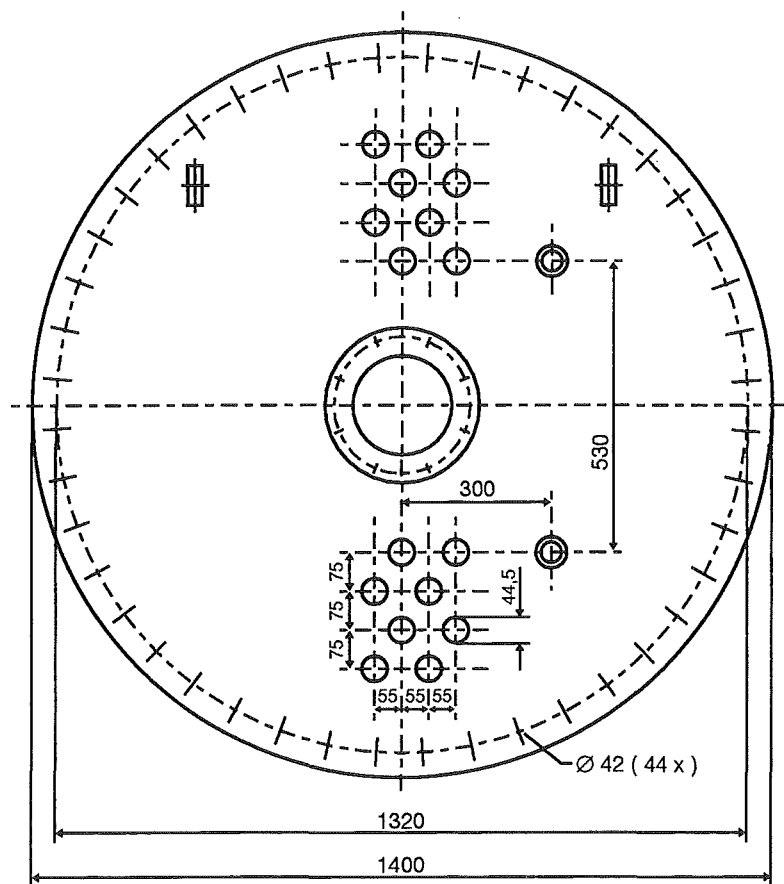


Bild 12: Rohrboden.

Im vorderen Deckel sind zusätzlich zwei Stutzen vorgesehen. Durch diese wird demnächst ein zusätzliches, im Gegensatz zu den anderen Rohren des Bündels umfangreicher instrumentiertes U-Rohr in den Kondensatorbehälter eingebracht. Das Einzelrohr liegt allerdings außerhalb des von den Leitblechen abgetrennten Bereiches. Ein Mannlochdeckel am hinteren Ende des Kondensatorbehälters ermöglicht zu Inspektionszwecken einen Einstieg in den

Kondensatorbehälter. Neben dem Schauglas im Rohrboden sind in beiden Deckeln je ein weiteres Schauglas zur Beobachtung der Vorgänge an der Außenseite des U-Rohrbündels angeordnet.

4.2 Auffüllpumpe

Die Auffüllpumpe besitzt mehrere Aufgaben. Vor dem Experiment dient sie zum Füllen des Kondensatorbehälters mit Wasser. Bei den Experimenten mit Ausdampfen der Sekundärseite ersetzt sie das verdampfte Wasser. Falls mehrere Experimente an einem Tag gefahren werden sollen, wird mit Hilfe der Auffülleitung zwischen den Experimenten das aufgeheizte Wasser gegen kaltes ausgetauscht. Die Auffüllpumpe ist eine einstufige Kesselpumpe mit folgenden Daten:

Hersteller	KSB,
Type	32 / 36,
max. Fördermenge	10 m ³ / h,
max. Förderhöhe	100 mFls,
Drehzahl	2950 U / min,
Leistung	8.6 kW.

4.3 Rohrleitungen

Das Rohrleitungssystem der Kondensatorbehälterkühlung besteht aus der Auffüll- und der Abdampfleitung. Die Auffülleitung mit Nennweite 55 mm dient zum Füllen, Ersetzen und Austausch von Wasser aus dem Abblasetank (vgl. Kap. 4.2). Die Abdampfleitung (Nennweite 125 mm) verbindet den Kondensatorbehälter mit dem Abblasetank. In der Abdampfleitung ist ein Sicherheits-

ventil, das den Druck im Kondensatorbehälter auf max. 0.9 MPa Überdruck begrenzt, und nachfolgend ein Regelventil angeordnet. Nach Aufheizung auf den Sättigungszustand wird der im Kondensatorbehälter produzierte Dampf über das Regelventil in den Abblasetank (vgl. Kap. 5.1) abgeleitet. Zur Minderung der dynamischen Belastung des Abblasetanks bei der Dampfeinleitung ist ein Verteilungssystem eingebaut, daß als Zackenrohr ausgeführt ist. Prinzipiell sind sekundärseitig zwei verschiedene Fahrweisen des Versuchsstandes möglich. Zum einen läßt man die Sekundärseite aufheizen. Zum anderen ersetzt man das verdampfte Wasser durch Wasser aus dem Abblasetank. In beiden Fällen wird der Druck auf der Sekundärseite durch Einstellung des Ansprechdrucks des Regelventils vorgegeben.

Sämtliche Rohrleitungen dieses Kreislaufes bestehen aus Edelstahl. Von den Rohrleitungen ist neben den Stirnseiten des Kondensatorbehälters nur die Abdampfleitung mit aluminiumkaschierten ISOVER-Matten (Dicke 60 mm) isoliert. Die Stirnseiten des Kondensatorbehälters sind zusätzlich noch mit einem verzinkten Blechmantel verkleidet. Weiterhin ist seitlich ein aus Lochblechen gefertigter Berührungsschutz angebracht.

5 Abblasesystem

Der Abblasetank (vgl. Bild 13) ist die Hauptwärmesenke des Versuchsstandes. Hier wird der aus dem Elektrokessel-Kreislauf und dem Kondensatorbehälter abgeblasene Dampf kondensiert. Ein aus den Komponenten Abblasetank, Umwälzpumpe, Plattenwärmetauscher bestehender Kühlkreislauf führt die bei Kondensation freiwerdende Wärme an den Flußwasser-Kühlkreislauf (vgl. Kap. 6) ab. Der Kühlkreislauf des Abblasetanks wird während des Versuches so betrieben, daß die Rücklauftemperatur 28 °C beträgt. Im folgenden werden der Abblasetank und die Hauptkomponenten des hierzu gehörenden Kühlkreislaufes detailliert beschrieben.

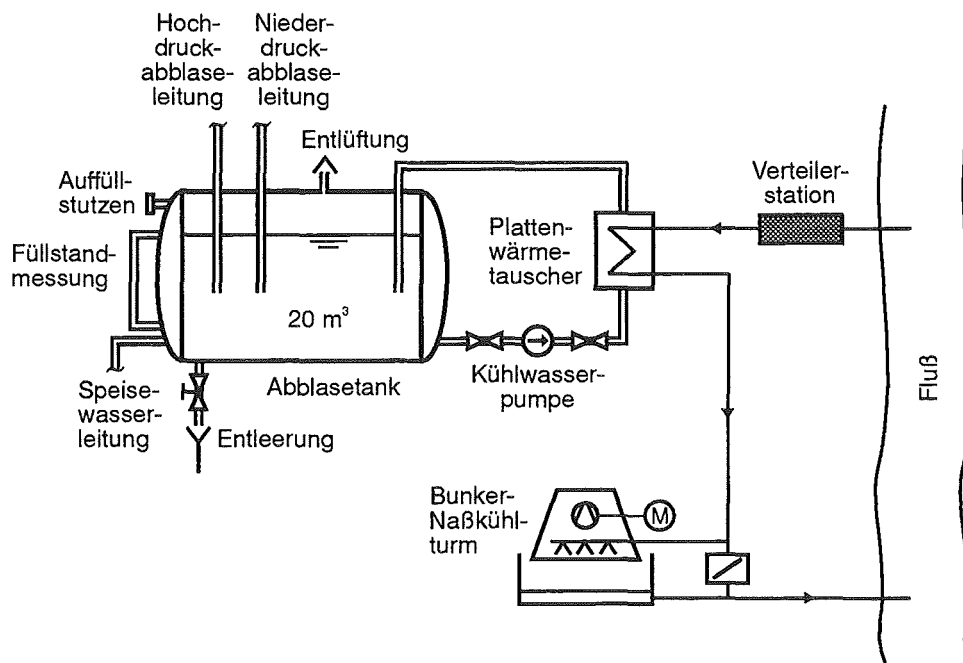


Bild 13: Abblasetank- und Flußwasser-Kühlkreislauf.

5.1 Abblasetank

Der Abblasetank übernimmt mehrere Funktionen im NOKO-Versuchsstand. Zum einen dient er als Vorrats- und Auffangbehälter, der sowohl zum Füllen einzelner Komponenten mit Deionat (z.B. Kondensatorbehälter, Druckgefäß) als auch zur Aufnahme des abgeblasenen überschüssigen Dampfes benutzt wird. Durch den Wärmeeintrag infolge des Dampfabblassens aus dem Elektrokessel-Kreislauf bzw. dem Kondensatorbehälter kann die Temperatur im Abblasebehälter bis zu 50 °C ansteigen. Der Abblasetank ist ein liegender zylindrischer Behälter, der mittels dreier Zargen auf dem Fundament verankert ist. Er besitzt eine Länge von 4.5 m, einen Durchmesser von 2.35 m und kann ein Volumen von 20 m³ Deionat aufnehmen. Das Leergewicht beträgt ca. 3 t. Über die Stützen an der Oberseite des Abblasetanks sind die Nieder- und die Hochdruckabblaseleitung angeschlossen. Das Ende der Abblaseleitung des Hochdrucksystems (Nennweite 80 mm) ist als Lochrohrdüse ausgeführt. Die Abblaseleitung des Niederdrucksystems besitzt die Nennweite 125 mm und endet in einem nach unten verschlossenen Zackenrohr, durch welches eine seitliche Dampfeinleitung erfolgt. Eine an der Tankoberseite angebrachte Entlüftung gewährleistet den drucklosen Betrieb. Zusätzlich sind am Abblasetank ein Mannloch, ein Entleerungsstutzen, ein Füllstutzen, ein Anschlußstutzen für die Speisewasserleitung und Stutzen für die Füllstandmessung vorgesehen.

5.2 Kühlwasserpumpe

Die Kühlwasserpumpe fördert das Deionat aus dem Abblasetank in den Plattenwärmetauscher und ist bei Inbetriebnahme des Versuchstandes stets eingeschaltet. Die Pumpe ist als einstufige Kreiselpumpe ausgeführt und besitzt die nachfolgend aufgeführten Auslegungsdaten:

Hersteller	KSB,
Typ	Etanorm C 100-250-C,
max. Förderhöhe	14 mWs,
max. Fördermenge	150 m ³ / h,
Antriebsleistung	11 kW,
Drehzahl	1450 U / min,
Gewicht	300 kg.

5.3 Plattenwärmetauscher

Ein SIGMA-Plattenwärmetauscher überträgt die Wärme vom Kühlkreislauf des Abblasetanks an den Flußwasser-Kühlkreislauf. Das Kernstück des Wärmetauschers ist ein Paket aus profilierten Wärmetauscherplatten. Zwischen diese sind zur Abtrennung von Strömungskanälen Rundschnurdichtungen gelegt. Die Übertragungsleistung des Wärmetauschers ist an die maximale Leistung des Elektrokessels angepaßt und beträgt ebenfalls 4 MW. Die Hauptdaten des Plattenwärmetauschers:

Hersteller	Schmidt-Bretten GmbH,
Typ	Sigma 65 SBL,
Länge	1.5 m,
Höhe	1.9 m,
Breite	0.9 m,
Übertragungsfläche	94.3 m ² ,
Auslegungstemperatur	50° C,
Gewicht	2130 kg.

6 Flußwasser-Kühlkreislauf

Der in Bild 13 skizzierte Flußwasser-Kühlkreislauf dient zur Abführung der Wärme aus dem Plattenwärmetauscher des Abblasetank-Kühlkreislaufes an einen Fluß und der Kühlung verschiedener Komponenten (z.B. Kesselspeisepumpe, Umwälzpumpe, Ölkühler des Elektrokessels). Der Kreislauf besteht aus den Hauptkomponenten Kühlwasserschleife, Verteilerstation und Naßkühlturm. Diese Komponenten werden nun einschließlich ihrer verbindenden Rohrleitungen und der hierin enthaltenen Armaturen beschrieben.

6.1 Kühlwasserschleife

Als Kühlwasserschleife wird nachfolgend die Rohrleitung zwischen Plattenwärmetauscher, Verteilerstation und Kühlturm bezeichnet. Diese ist aus einem temperaturbeständigen Kunststoff hergestellt und besitzt die Nennweite 200 mm. Die Kühlwasserschleife enthält vor dem Plattenwärmetauscher eine von Hand zu betätigende Absperrarmatur, eine Wasseruhr zur Bestimmung des Kühlwasserverbrauchs, ein pneumatisch betriebenes Regelventil, das über die Temperatur des Wassers im NOKO-Kühlkreislauf hinter dem Plattenwärmetauscher geregelt wird, und eine Druck- und Temperaturanzeige für das Wasser. Da das Wasser hinter dem Plattenwärmetauscher quasi frei abläuft, gibt die Druckanzeige des Wärmetauschers abzüglich des Umgebungsdrucks den Druckverlust des Wärmetauschers an.

Hinter der Meßuhr zweigen die Leitungen von der Kühlwasserschleife zu weiteren Verbrauchern des NOKO-Versuchstandes ab, die ebenfalls mit Wasser gekühlt werden. Im einzelnen sind dies die Kesselspeisepumpe, deren Ölaggregat und Antriebskühler, die Umwälzpumpe und der Ölkühler des Elektrokessels.

6.2 Verteilerstation

In der Verteilerstation in Halle 3 wird das Kühlwasser auf die einzelnen Verbraucher (z.B. NOKO) über ein Rohrleitungssystem mit Nenndurchmessern von 50 - 200 mm, das für Drücke bis zu 0.65 MPa ausgelegt ist, verteilt.

6.3 Naßkühlturm

Das in dem Plattenwärmetauscher erwärmte Wasser wird anschließend über einen Regenwasserkanal abgeleitet. Besitzt das Kühlwasser hierbei eine Temperatur von größer als 30 °Celsius, muß dieses zunächst über einen nachgeschalteten Naßkühlturm unterhalb dieses Temperaturgrenzwertes abgekühlt werden. Der Kühlturm ist analog zum Elektrokessel und zum Plattenwärmetauscher auf eine Kühlleistung von 4 MW bei einem Durchsatz von 150 m³/h ausgelegt.

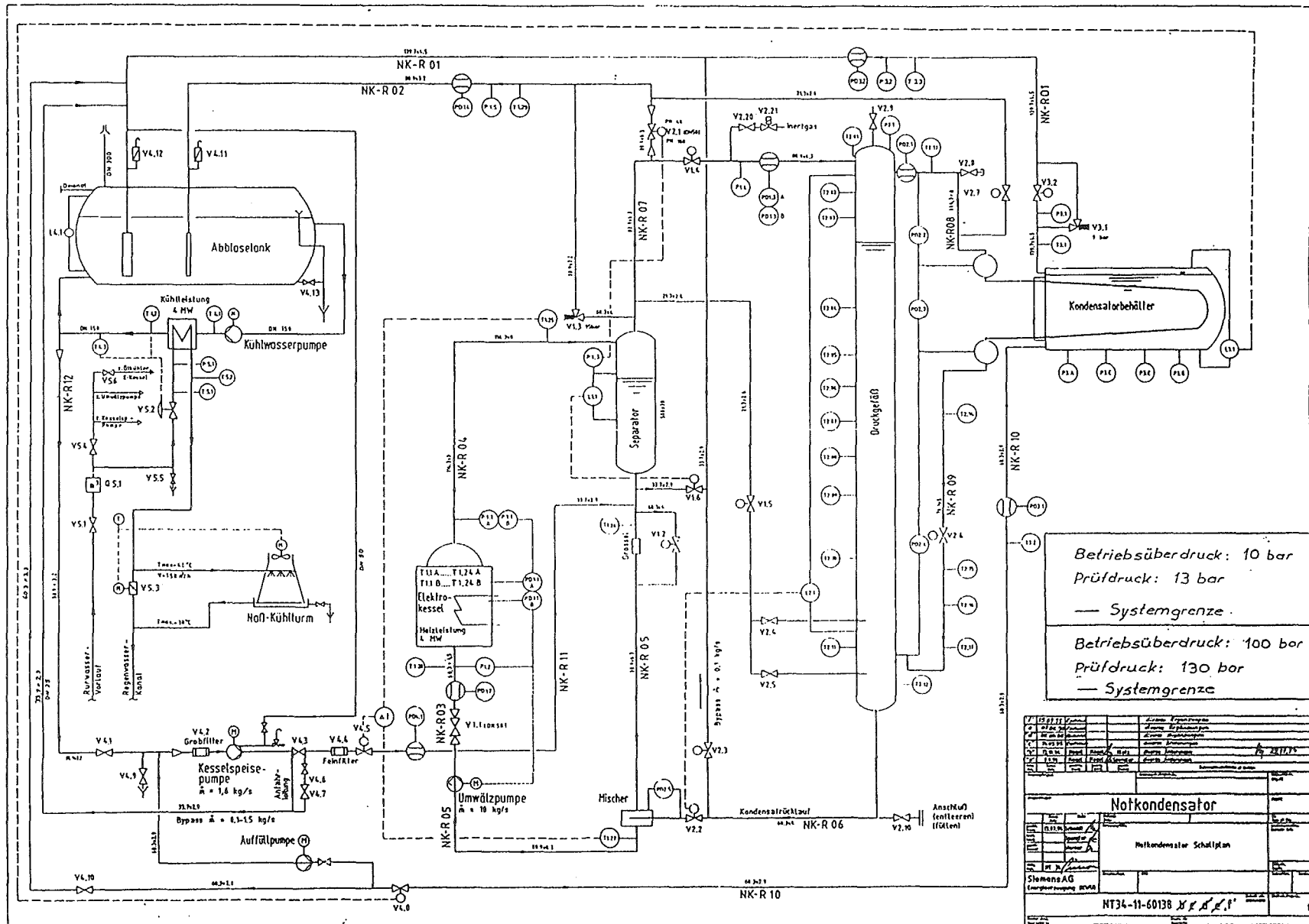
7 Steuerung und Regelung

Die Steuerung der Versuchsanlage erfolgt von einem Leitstand aus, der in der Nähe des Versuchsstandes untergebracht ist. Alle Steuer- und Bedienelemente sind hier in einem Blindschaltbild zusammengeführt. In dem Blindschaltbild werden die wichtigsten Betriebsparameter der Anlage angezeigt. Mit Ausnahme des Elektrokessels, dessen Leistung vom Leitstand aus nur eingestellt werden kann, und des Flußwassernetzes, befindet sich hier die elektrische Versorgung aller Verbraucher. Elektrokessel und Flußwassernetz werden vom Leitstand aus zu- bzw. abgeschaltet. Weiterhin werden von dort auch sämtliche Pumpen (Kesselspeisewasser-, Hydraulik-, Umwälz-, Auffüll- und Kühlwasserpumpe) ein- oder ausgeschaltet und die Füllstand- und Druckregelungen manuell oder automatisch vorgenommen. Die Einstellung der Regelbereiche beträgt ca. 1 % des Maximalwertes des jeweiligen Parameters.

Die Regelung der Anlagenparameter (Druck, Füllstand) erfolgt über motorgetriebene Stellventile. Die Antriebe der Ventile werden direkt von der Regelung angesteuert. Dabei werden die den Reglern vorgegebenen Sollwerte mit den Istwerten verglichen und den Stellantriebe dementsprechende Korrektursignale übermittelt. Sämtliche Regelungen sind in Bild 14 durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. Aus Bild 14 sind weiterhin auch die Lage der Stellventile, ihre Bezeichnung und die Lage der übrigen Meßstellen zu entnehmen.

Die Einstellung des Systemdruckes erfolgt über Ventil V2.1. Der hierfür notwendige Istwert wird in der Druckmeßstelle P1.3 erfaßt. Der Füllstand des Separators wird über Ventil V1.6 geregelt und über die Differenzdruckmeßstelle L1.1 als Eingangsgröße gesteuert. Der Füllstand des Druckgefäßes wird über Ventil V2.3 reguliert, wobei der Meßwert von L2.1 als Eingangsgröße dient.

Bild 14: Regelungen und Lage der Stellventile und Meßstellen des NOKO-Versuchsstandes.



Nachfolgend werden die verschiedenen Regelungen des Versuchsstandes vorgestellt. Dies sind die Leistungsregelung des Elektrokessels (inkl. der Vorbereitung zu dessen Inbetriebnahme), die Füllstandregelung des Druckgefäßes, des Separators und des Kondensatorbehälters und die Druckregelung von Separator, Druckgefäß und Kondensatorbehälter.

7.1 Inbetriebnahme und Leistungsregelung des Elektrokessels

Bevor der Elektrokessel in Betrieb genommen werden kann, sind zunächst diverse Betriebsparameter zu kontrollieren. Befinden sich diese außerhalb der zulässigen Bereiche, stehen Warnmeldungen an. Nach Rückkehr des jeweiligen Parameters in den zulässigen Betriebsbereich sind dann die Warnmeldungen zu quittieren. Erst nach Erscheinen der Meldung „E-Kessel einschaltbereit“ im Blindschaltbild kann die Inbetriebnahme des Elektrokessels erfolgen. Diese beginnt grundsätzlich in der niedrigsten Leistungsstufe, die abhängig von der Netzspannung Werte zwischen 1.38 und 1.48 MW aufweist. Im Blindschaltbild sind die Bedien- und Anzeigeelemente des Elektrokessels integriert. Hiermit werden die Schalthandlungen (Auf- und Abschalten einzelner Leistungsstufen) vorgenommen. Die Leistungsregelung des Elektrokessels erfolgt von Hand. Zusätzlich werden die aktuelle Leistungsstufe des Elektrokessels und die auf der Sekundärseite des 6 KV Trafo's gemessene Leistung angezeigt.

Die Leistung des Transformators wird über einen 9-stufigen Stufenschalter geregelt. Die primärseitige Leistung der jeweiligen Stufen ist:

Stufe 1	1.375 MW,
Stufe 2	1.525 MW,
Stufe 3	1.70 MW,

Stufe 4	1.950 MW,
Stufe 5	2.21 MW,
Stufe 6	2.52 MW,
Stufe 7	2.91 MW,
Stufe 8	3.37 MW,
Stufe 9	4.0 MW.

Bei der Vorbereitung der Inbetriebnahme des Elektrokessels sind folgende Parameter zu kontrollieren:

der Wasserdurchsatz im Ölkühler,
 die Öltemperatur im Ölkühler,
 der Öldurchsatz im Ölkühler,
 der Ölstand im Transformator,
 die Öltemperatur im Transformator,
 die Wicklungstemperatur des Transformators,
 die Steuerspannung im Steuerschrank,
 die Türüberwachung des Elektrokessel Gehäuses,
 die Heizrohrtemperatur des Elektrokessels,

und

der Differenzdruck über den Elektrokessel.

7.2 Füllstandregelung des Druckgefäßes

Zur Regelung des Füllstandes im Druckgefäß wirkt das Signal der Füllstandmessung über einen zugehörigen Regler auf das Regelventil in der Kondensatrücklaufleitung (vgl. Kap. 3.3). Mit Hilfe dieses Regelventils kann nun bis zum Erreichen des Füllstandsollwertes Wasser aus dem Druckgefäß in den Abblasetank strömen. Während der Anfahrphase eines Versuches wird das Regel-

ventil manuell gesteuert und erst nach Erreichen des Füllstandsollwertes im Druckgefäß auf automatische Regelung umgestellt.

7.3 Füllstandregelung im Separator

Die Füllstandregelung des Separators ist analog zur Füllstandregelung im Druckgefäß aufgebaut. Auch diese Regelung arbeitet in der Anfahrphase zunächst im Handbetrieb. Zur Inbetriebnahme der Umwälzpumpe muß der Separator zunächst bis auf 60% des Maximalwertes aufgefüllt werden. Während dieser Phase ist das Ventil in der Kondensatorablaufleitung geschlossen und die Zuspeisung von Deionat aus dem Abblasetank auf einen konstanten Wert eingestellt. Nach Erreichen dieses Sollwertes und Umstellung auf automatische Regelung, wirkt diese dann auf das Ablaufventil hinter dem Separator.

Der untere Füllstandgrenzwert im Separator beträgt 30% des Maximalwertes und sichert die Umwälzpumpe gegen „Trockenlaufen“ ab. Eine Unterschreitung des Grenzwertes führt automatisch zum Abschalten der Pumpe und des Elektrokessels, sofern dieser noch in Betrieb ist.

7.4 Regelung der Einspeisewassermenge

Die Regelung der Einspeisewassermenge wird durch manuelles Einstellen des Ventils hinter der Kesselspeisepumpe vom Blindschaltbild aus durchgeführt. Zur Vermeidung von Kavitation in der Umwälzpumpe ist eine geringe Unterkühlung am Einlauf der Pumpe einzuhalten. Die Unterkühlung wird durch Differenzbildung aus zwei Temperaturen bestimmt. Dieser Wert wird als Eingangsgröße für einen Regler benutzt, der die Einspeisemenge automatisch regelt.

7.5 Füllstandregelung des Kondensatorbehälters

Der vorgeschriebene Füllstand im Kondensatorbehälter wird vor Versuchsbeginn durch Handsteuerung der Auffüllpumpe eingestellt. Während des Versuches erfolgt das Aufheizen und anschließende Ausdampfen des Behälters bis zu einem vorgegebenen Wert. Durch Einschalten der Füllstandregelung im Kondensatorbehälter ist eine Fahrweise möglich, bei der der abgeführte Dampf durch nachgespeistes Wasser aus dem Abblasetank ersetzt wird. Dabei wirkt die Füllstandregelung auf das Ventil in der Kesselspeiseleitung (vgl. Kap. 2.6).

7.6 Druckregelung im Primärsystem

Die Druckregelung des Primärsystems (Separator, Druckgefäß und dem dazu gehörenden Rohrleitungssystem), wird durch Regelung des Dampfdrucks im Separator bewirkt. Das Drucksignal erzeugt über einen Druckregler ein Ausgangssignal, das wiederum auf das Regelventil in der Dampfleitung (vgl. Kap. 2.5) wirkt. Nach Sollwerteinstellung des Reglers und langsames Anheben des Drucks während der Vorbereitungsphase, erfolgt dann die automatische Druckregelung.

7.7 Druckregelung im Kondensatorbehälter

Die Druckregelung des Kondensatorbehälters ermöglicht die Einstellung von Drücken zwischen 0.1 und 1 MPa. Soll Umgebungsdruck im Kondensatorbehälter herrschen, ist die Regelarmatur freigeschaltet. In der Regel beginnt jeder Versuch bei Umgebungsdruck und geschlossenem Regelventil.

8 Sicherheitseinrichtungen

Die Versuchsanlage ist wie jede andere konventionelle Dampfkesselanlage, gegen das Überschreiten der zulässigen thermischen- und hydraulischen Betriebsdaten abzusichern. Hierzu dient das Hoch- und Niederdruckabblasesystem sowie eine redundant ausgeführte thermische und eine einfach ausgeführte Durchfluß-Überwachung des Elektrokessels.

Das gesamte Hochdruck-System ist auf einen Betriebsdruck von 10 MPa ausgelegt und abgenommen. In der Dampfaustrittsleitung des Separators ist ein Hochdruck-Sicherheitsventil angebracht, daß bei einem Öffnungsdruck von 9 MPa anspricht. Hierbei wird Dampf über eine Leitung mit Nennweite 80 mm in den Abblasetank abgeblasen.

Das Niederdruck-System ist auf 1 MPa Betriebsdruck ausgelegt und wird durch ein Sicherheitsventil in der Abdampfleitung hinter dem Kondensatorbehälter gesichert. Der austretende Dampf oder das Wasser-Dampfgemisch wird über eine Abblaseleitung der Nennweite 100 mm ebenfalls in den Abblasetank eingeleitet. Der Abblasetank ist drucklos und steht über eine nicht verschließbare Leitung von 500 mm mit der Umgebung in Verbindung. In beiden Abblaseleitungen sind unmittelbar vor der Einleitung in den Abblasetank, Vakuumbrecher eingebaut, die den Aufbau eines Unterdrucks in den Leitungen verhindern.

Der Elektrokessel ist mit einer zweifach ausgeführten Einzelrohr-Temperaturüberwachung gegen thermische Überhitzung gesichert. Hierzu ist jedes Heizrohr zur Erfassung der Rohraußenwandtemperatur mit zwei Thermoelementen bestückt. Die Regler sind auf eine Abschalttemperatur von 350 °C an der Rohraußenseite eingestellt. Spricht eine der 48 Überwachungseinheiten an, wird die Stromversorgung des Kessels sofort unterbrochen. Weiterhin sind am Eintritt- und Austrittsammler des Kessels Druckaufnehmer angebracht. Der Druck im Eintrittsammler ist ebenfalls ein Abschaltkriterium für die gesamte Versuchsanlage. Der eingestellte Grenzwert beträgt 8.6 MPa und soll die Um-

wälzpumpe gegen zu hohen Druck schützen (max. 9.2 MPa). Der Differenzdruck über den Ein- und Austrittsammler wird aus beiden Druckwerten ermittelt und mit einem Grenzwert (1 MPa), der als Indikator für Wassermangel dient, verglichen. Bei dessen Unterschreiten wird automatisch eine Kesselabschaltung eingeleitet. Weiterhin bewirken die „NOT-AUS“-Schalter eine sofortige Abschaltung mit Verriegelung des 10 kV-Schalters in der 10 kV/ 6 kV Trafo-Station.

9 Meßtechnik

Zur Erfassung der thermohydraulischen Vorgänge ist die NOKO-Versuchsanlage mit einer umfangreichen Meßinstrumentierung ausgestattet. Hierzu werden die physikalischen Größen wie Temperaturen, Drücke, Differenzdrücke, Massenströme, Füllstände und Inertgaskonzentrationen gemessen und zur späteren Analyse in der Meßwerterfassungsanlage gespeichert. Alle Meßwertaufnehmer sind mit Meßumformern ausgerüstet, die die Signale in der von der Datenerfassung benötigten Form bereitstellen. Weiterhin sind diverse Komponenten des Versuchsstandes mit Meßstellen zur Anlagenregelung und -steuerung versehen.

Der Schwerpunkt der Instrumentierung liegt im Bereich des Druckgefäßes, dem zu testenden Ausschnitt des Notkondensatorbündels und der Sekundärseite des Kondensatorbehälters. Die Lage sämtlicher Meßstellen, bis auf die Thermoelemente im Kondensatorbehälter, ist Bild 14 zu entnehmen. Die genaue Lage der Thermoelemente im Kondensatorbehälter zeigen die Bilder 15 und 16 (vgl Kap. 9.1). Sämtliche Meßstellen des Versuchsstandes sind mit Angabe des Meßbereichs, der Meßgenauigkeit, sowie deren Ausgangssignal in Tabelle 1 aufgelistet. Die Kennzeichnung der Meßstellen besteht aus einer aus maximal zwei Buchstaben und zwei Zahlen zusammengesetzten Kodierung. Der bzw. die Buchstaben haben die folgende Bedeutung:

- | | |
|----|-------------------------|
| T | Temperaturmeßstelle, |
| P | Druckmeßstelle, |
| PD | Differenzdruckmeßstelle |
- und
- | | |
|---|---------------------|
| L | Füllstandmeßstelle. |
|---|---------------------|

Tabelle 1: Meßstellenliste.

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND											Stand:	
Meßstellenliste											08/02/1996	
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf. Kanal
	P1.1A	MPa	Druck nach Elektrokessel	SMAR; LD 301 M51I-V000-B10-Z	18594	25 MPa	0 - 10 MPa	0,10%	0,05	x	1	
	P1.1B	MPa	Druck nach Elektrokessel	HBM PE 200	G 38678	10 MPa	0 - 10 MPa	0,20%		x		106
	P1.2	MPa	Druck vor Elektrokessel	HBM PE 200	G 38670	10 MPa	0 - 10 MPa	0,20%		x		100
	PD1.1A	MPa	Differenzdruck über Elektrokessel							x		101
	PD1.1B	MPa	Differenzdruck über Elektrokessel	Hartmann + Braun	79427	10 MPa	0 - 10 MPa	0,20%		x		110
	T1.1-24	°C	Temp. Überw. 24 E-Kessel-Heizrohre	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm		1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K		(x)		
	U1	kV	Spannung am Elektrokessel	Hartmann + Braun				0 - 6 kV		(x)		
	I1	A	Strom am Elektrokessel	Cewe, PC 641				0 - 400 A		(x)		
	PEL	MW	Leistung nach 6 KV-Trafo				0 - 4000 KW	0,20%		x		102
	T1.25	°C	Gemischtemperatur n. Elektrokessel	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K		x	2	104
	T1.26	°C	Temperatur Separatorablauf	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K			6	
	T1.27	°C	Temperatur nach Mischer	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K			7	105
	T1.28	°C	Temperatur hinter Umwälzpumpe	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm		1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				85
	T1.29	°C	Temperatur v.d. HD-Abblasedüse	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm		1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				117
	DTU	K	Temperaturdifferenz T1.25 - T1.27				0 - 50 K	1,5 K		x	18	109
	PD1.2	MPa	Differenzdruck über Düse	SMAR; LD 301 D21I-V000-B11	40803	1 MPa	0 - 200 kPa		0,4			103
	L1.1	MPa	Füllstand Separator	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z	32822	50 kPa	-20 - 0 kPa	0,10%	0,06	x	3	108

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND										Stand:		
Meßstellenliste										08/02/1996		
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf. Kanal
	P1.3	MPa	Druck im Separator	SMAR; LD 301 M51I-V000-B10-Z	29813	25 MPa	0 - 10 MPa	0,10%	0,06	x		89
	P1.4	MPa	Druck vor Dampfeintrittsdüse	SMAR; LD 301 M51I-V000-B10-Z	25602	25 MPa	0 - 10 MPa	0,10%	0,05	x	8	86
	P1.5	MPa	Druck v.d. HD-Abblasedüse	SMAR; LD 301 M51I-V000-B10-Z	25602	2,5 MPa	0 - 2,5 MPa	0,10%		x		116
	PD1.3A	MPa	Diff.druck über Dampfeintr.düse	SMAR; LD301 D21I-V000-B10-Z	30614	50 kPa	0 - 20 kPa	0,10%	0,05	x	4	87
	PD1.3B	MPa	Diff.druck über Dampfeintr.düse	SMAR; LD 301 D11I-V000-B10-Z	31863	50 kPa	0 - 5 kPa	0,10%	0,05			88
	PD1.4	MPa	Diff.druck über HD-Abblasedüse	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z		2,5 MPa	0-50 kPa	0,10%		x		115
	T2.01	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 01	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K		x	9	1
	T2.02	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 02	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				2
	T2.03	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 03	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				3
	T2.04	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 04	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				4
	T2.05	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 05	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				5
	T2.06	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 06	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				6
	T2.07	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 07	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				7
	T2.08	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 08	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				8
	T2.09	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 09	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				9
	T2.10	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 10	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				10
	T2.11	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 11	HEREAUS, Typ K, 1,5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				11

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND											Stand:	
Meßstellenliste											08/02/1996	
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf.anl., Kanal
	T2.12	°C	Temperatur im Druckgefäß Pos. 12	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				12
	L2.1	MPa	Füllstand im Druckgefäß	SMAR; LD 301 D31I-V000-B10-Z	32927	250 kPa	(-)120 - 0kPa	0,10%	0,06	x	10	90
	P2.1	MPa	Druck a.d. Durchflußdüse z. Notkon.	SMAR; LD 301 M51I-V000-B10-Z	29814	25 MPa	0 - 10 MPa	0,10%	0,05	x		91
	PD2.1	MPa	Diff.druck über Durchflußdüse	SMAR; LD 301 D11I-V000-B10-Z	31861	5 kPa	0 - 2 kPa	0,10%	0,05	x	11	92
	T2.13	°C	Temperatur n.d. Durchflußdüse	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K		x	1	13
	T2.14	°C	Temp. in Kondensatrückl. Pos. 1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				14
	T2.15	°C	Temp. in Kondensatrückl. Pos. 2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				15
	T2.16	°C	Temp. in Kondensatrückl. Pos. 3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				16
	T2.17	°C	Temp. in Kondensatrückl. Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K		x		17
	PD2.2	MPa	Diff.druck i.d. Leitung z. Dampfvert.	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z	31778	50 kPa	0 - 50 kPa	0,10%	0,05	x		93
	PD2.3	MPa	Diff.druck über Kondensator	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z	32251	50 kPa	0 - 40 kPa	0,10%	0,03	x	12	94
	PD2.4	MPa	Diff.druck i.d. Leitung n. Kond.Sammler	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z	38226	50 kPa	0 - 40 kPa	0,10%	0,05	x		95
	PD2.5	MPa	Diff.druck über Mischer	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z	31779	50 kPa	0 - 20 kPa	0,10%	0,05	x	5	96
	T3.A1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				18
	T3.A2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				19
	T3.A3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				20

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND											Stand:	
Meßstellenliste											08/02/1996	
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Ein- heit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrier- bereich	Meßab- weichung (Hersteller- angabe)	Kalibrier- abweichung %	Warten- Anzeige	Punkt- drucker, Kanal	Daten- erf.anl "Kanal"
	T3.A4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				21
	T3.A5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				22
	T3.A6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				23
	T3.A7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneA/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				24
	T3.B1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				25
	T3.B2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				26
	T3.B3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				27
	T3.B4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				28
	T3.B5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				29
	T3.B6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				30
	T3.B7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				31
	T3.B8	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.8	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				32
	T3.B9	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.9	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				33
	T3.B0	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.0	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				34
	T3.C1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneC/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				35
	T3.C2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneC/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				36

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND											Stand:	
Meßstellenliste											08/02/1996	
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf.anl Kanal
	T3.C3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneC/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				37
	T3.C4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneC/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				38
	T3.C5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneC/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				39
	T3.C6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneC/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				40
	T3.C7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneB/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				41
	T3.D1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				42
	T3.D2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				43
	T3.D3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				44
	T3.D4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				45
	T3.D5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				46
	T3.D6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				47
	T3.D7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				48
	T3.D8	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.8	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				49
	T3.D9	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.9	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				50
	T3.D0	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneD/Pos.0	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				51
	T3.E1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				52

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND										Stand:		
Meßstellenliste										08/02/1996		
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf.anl "Kanal"
	T3.E2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				53
	T3.E3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				54
	T3.E4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				55
	T3.E5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				56
	T3.E6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				57
	T3.E7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneE/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				58
	T3.F1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				59
	T3.F2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				60
	T3.F3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				61
	T3.F4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				62
	T3.F5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				63
	T3.F6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				64
	T3.F7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				65
	T3.F8	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.8	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				66
	T3.F9	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.9	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				67
	T3.F0	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneF/Pos.0	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				68

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND											Stand:	
Meßstellenliste											08/02/1996	
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf.anl Kanal
	T3.G1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				69
	T3.G2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				70
	T3.G3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				71
	T3.G4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				72
	T3.G5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				73
	T3.G6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				74
	T3.G7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneG/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				75
	T3.H1	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneH/Pos.1	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				76
	T3.H2	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneH/Pos.2	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				77
	T3.H3	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneH/Pos.3	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				78
	T3.H4	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneH/Pos.4	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				79
	T3.H5	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneH/Pos.5	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				80
	T3.H6	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneHPos.6	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				81
	T3.H7	°C	Temp. i. Kond.behält. EbeneH/Pos.7	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K				82
	P3.1	MPa	Druck i. Abdampfleitung n. Kondbeh.	SMAR; LD 301 M41I-V000-B10-Z	33535	2.5 MPa	0 - 1 MPa	0,10%	0,02	x	13	97
	P3.2	MPa	Druck v.d. ND-Abblasedüse	SMAR; LD 301 M41I-V000-B10-Z		2.5 MPa	0 - 1 MPa	0,10%	0,02			119

Tabelle 1: Meßstellenliste (Fortsetzung).

NOTKONDENSATOR-VERSUCHSSTAND											Stand:	
Meßstellenliste											08/02/1996	
Meßstelle				Meßgeber						Registrierung		
lfd. Nr.	Bez.	Einheit	Beschreibung	Typ	Sensor Nr.	Meßspanne	Kalibrierbereich	Meßabweichung (Herstellerangabe)	Kalibrierabweichung %	Warten-Anzeige	Punkt-drucker, Kanal	Daten-erf.anl „Kanal
	T3.1	°C	Temp. i. Abdampfleitung n. Kondbeh.	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 200 °C	1,5 K		x	14	83
	T3.3	°C	Temp. v.d. ND-Abblasedüse	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm		1100 °C	0 - 400 °C	1,5 K				120
	L3.1	MPa	Füllstand i. Kondensatorbehälter	SMAR; LD 301 D21I-V000-B10-Z	32820	50 kPa	(-)20 - 0 kPa	0,10%	0,03	x	15	98
	T3.2	°C	Temp. v.d. Auffülldüse	HEREAUS, Typ K, 1.5 mm	37516615	1100 °C	0 - 100 °C	1,5 K				84
	PD3.1	MPa	Diff.druck über Auffülldüse	SMAR; LD 301 D31I-V000-B10-Z	32925	250 kPa	0 - 20 kPa	0,10%	0,02	x	16	99
	PD3.2	MPa	Diff.druck über ND-Abblasedüse			250 kPa	0 - 50 kPa	0,10%		x		118
	P3.A	MPa	Dyn. Druck i. Kond.beh., Ebene A	Sensotec A-105	23315	1 MPa	0 - 1 MPa	1%	0,42			111
	P3.B	MPa	Dyn. Druck i. Kond.beh., Ebene B	Sensotec A-105	23317	1 MPa	0 - 1 MPa	1%	0,44			112
	P3.C	MPa	Dyn. Druck i. Kond.beh., Ebene C	Sensotec A-105	23319	1 MPa	0 - 1 MPa	1%	1,25			113
	P3.D	MPa	Dyn. Druck i. Kond.beh., Ebene D	Sensotec A-105	23320	1 MPa	0 -1 MPa	1%	0,26			114
	PD4.1	MPa	Diff.druck über Kesselspeisew.blen.	SMAR; LD 301 D31I-V000-B10-Z	G29476	250 kPa	0 - 200 kPa	0,10%	0.06	x	17	107
	T4.1	°C	Temperatur nach Kühlwasserpumpe	Burster, PT 100		0 - 200 °C	0-100 °C	1%				
	T4.2	°C	Temperatur für Kühlwasserregler	Sauter, EGT 342F	A1712C	200 Ohm	0 - 100 °C	1%				
	T4.3	°C	Temperatur nach Wärmeübertrager	Burster, PT 100		0 - 200 °C	0-100 °C	1%				
	L4.1	m	Füllstand im Abblasetank				0 - 2 m	1%				

Die erste Zahl hinter dem bzw. den Buchstaben kennzeichnet die Zugehörigkeit einer Meßstelle zum jeweiligen Kreislauf bzw. Teilsystem des Versuchsstandes und hat die nachfolgend aufgeführte Bedeutung:

- 1 Elektrokessel-Kreislauf,
- 2 Druckgefäß und Notkondensatorrohrleitung,
- 3 Kondensatorbehälter (inkl. Kondensatorzulauf- und Kondensatorablaufleitung),
- 4 Deionatversorgung des Versuchsstandes und Kühlkreislauf,
- 5 Flußwassersystem.

Die zweite Zahl ist durch einen Punkt von der ersten getrennt und numeriert die Meßstellen im jeweiligen Kreislauf oder Teilsystem. Nachfolgend wird nun die Messung der einzelnen Parameter detailliert beschrieben.

9.1 Temperaturmessung

Temperaturmessungen im NOKO-Versuchsstand erfolgen zur Überwachung der Versuchsanlage und zur Ermittlung

der Betriebszustände,
des vertikalen Temperaturprofils im Druckgefäß
und
der Temperaturverteilung im Kondensatorbehälter.

Im Kondensatorbehälter werden die Temperaturen in 8 Ebenen A - H gemessen. In den Ebenen A, C, E, G und H sind die Positionen 1 - 7, in den übrigen Positionen die Ebenen 0 - 9 mit Thermoelementen bestückt (vgl. Bild 9.2 und 9.3). Alle Temperaturmessungen werden mit Thermoelementen vom Typ K NiCr-Ni ausgeführt. Generell handelt es sich hierbei Mantelthermoelemente mit einem Durchmesser von 1.5 mm und einem Mantelmaterial aus Edelstahl (Werkstoff-Nr.: 1.4541). Sämtliche Meßstellen sind gegen den

Mantel isoliert. Die Toleranz der abgegebenen. Thermospannung entspricht DIN-Norm 43710. Der Anschluß der Ausgleichsleitung erfolgt mit einer zwei-poligen LEMO-Steckverbindung der Größe 1. Stifte und Buchsen dieser Steckverbindung sind vergoldet.

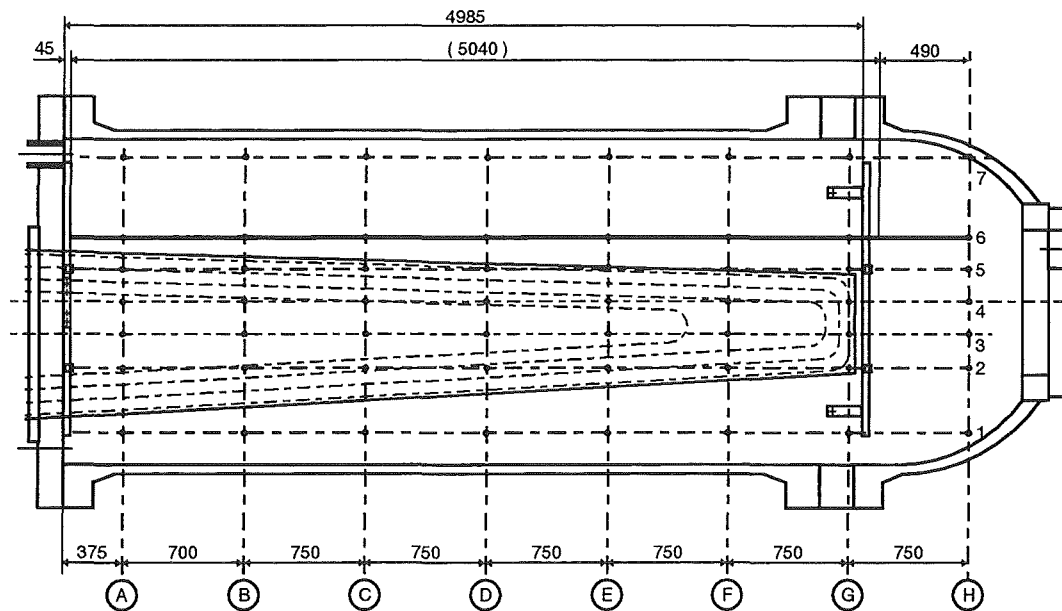


Bild 15: Position der Thermoelementebenen A-H im Kondensatorbehälter.

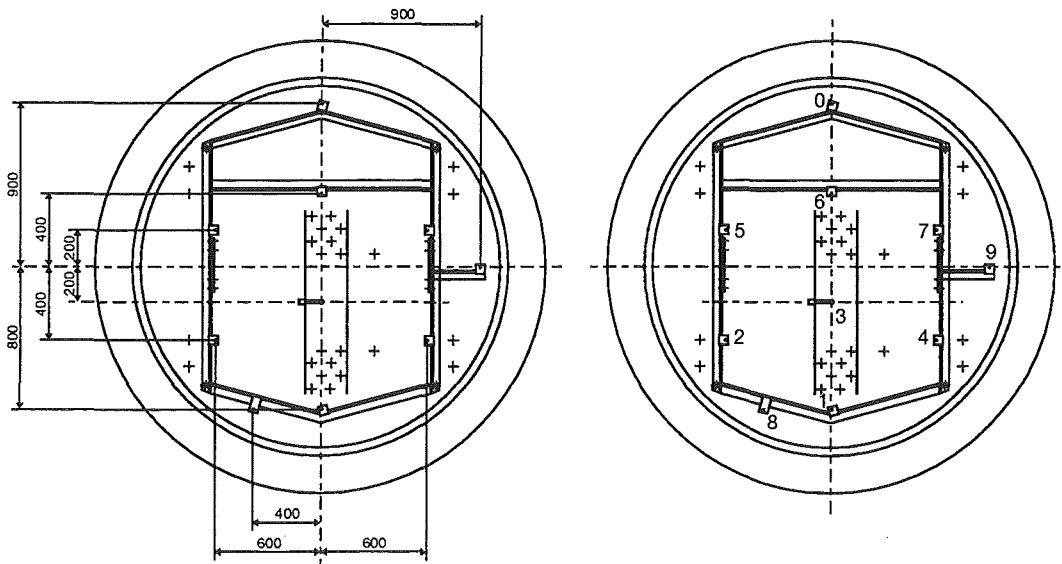


Bild 16: Position der Thermoelemente in den Meßebenen.

9.2 Druck- und Differenzdruckmessung

Druck- und Differenzdruckmessungen erfolgen zur Überwachung der Versuchsanlage, zur Ermittlung

von Betriebszuständen in der Versuchsanlage,
des Druckverlustes in der Kondensatorzulauf-, der Kondensator-
ablaufleitung und über das Kondensator-Rohrbündel
und
möglicher Druckoszillationen im Kondensatorbehälter.

Die Messung der Drücke wird mit Hilfe von Druckaufnehmern des Herstellers SMAR realisiert. Eine Ausnahme bilden die beiden Druckmessungen am Elektrokessel, die gleichzeitig auch für eine elektrische Differenzbildung herangezogen werden. Diese Druckmeßstellen bestehen aus Druckaufnehmern des Herstellers HBM und einem Differenzverstärker von H&B. Die Messung der dynamischen Drücke im Kondensatorbehälter erfolgt mit Membrandruckaufnehmern des Herstellers Sensotec.

Die Druckaufnehmer des Herstellers SMAR besitzen eine Trennmembran (Bartonzelle), die einseitig gegenüber der Umgebung geöffnet sind. Hiermit wird der Überdruck zur Umgebung gemessen. Bei den Differenzdruckmessungen hingegen wird die Trennmembran beidseitig mit Prozeßgrößen beaufschlagt.

Die Druckaufnehmer des Herstellers HBM (Typ DIGIBAR) arbeiten nach dem Prinzip der DMS-Meßbrücke. Die durch den Prozeßdruck verursachte Verformung der Meßmembran wird mittels Dehnungsmeßstreifen gemessen. Die Geräte haben eine „vor Ort“ Anzeige und bilden mit ihren Grenzwerteinstellungen ein wichtiges Glied in der Sicherheitskette des Elektrokessels. Gemessen wird der Druck am Ein- und Austrittssammler des Elektrokessels. Der nachgeschaltete H&B Differenzverstärker bildet aus den Stromsignalen ein Differenzsignal, das dem Differenzdruck über dem Elek-

trokessel entspricht. Dieser Differenzdruck wird im Betrieb kontinuierlich mit einem Grenzwert verglichen, dessen Unterschreiten zur Abschaltung des Elektrokessels führt.

9.3 Durchflußmessung

Durchsatzmessungen erfolgen im NOKO-Versuchsstand zur Bestimmung

der Umlaufmenge im Elektrokessel-Kreislaufes,
der dem Druckgefäß zugeführten Dampfmenge,
der dem Kondensator zugeführten Dampfmenge (d.h. zur Leistungsbestimmung des Notkondensators),
der dem Kondensatorbehälter zugeführten Wassermenge,
der aus dem Primär- und Sekundärsystem abgeblasene Dampf-
mengen
und
der dem Hochdrucksystem zugeführten Deionatmenge.

Bei den Durchflußmessungen wird der Differenzdruck über eine Normblende bzw. eine Normdüse gemessen. Die Druckmessung geschieht mit Hilfe der bereits oben beschriebenen Druckaufnehmer des Herstellers SMAR.

9.4 Füllstandmessung

Füllstandmessungen erfolgen in der NOKO-Versuchsanlage zur Ermittlung des Füllstandes

im Seperator,
im Druckgefäß,
im Kondensatorbehälter
und

im Abblasetank.

Die Meßstellen für die hydrostatische Füllstandmessung im Separator, im Druckgefäß und im Kondensatorbehälter sind nach dem gleichen Meßprinzip aufgebaut. Die Druckdifferenz der Fluidsäulen im Behälter und in der Vergleichssäule werden hierbei mit Druckaufnehmern des Herstellers SMAR aufgenommen. Die Meßbereiche der Aufnehmer sind den unterschiedlichen Höhen der Behälter angepasst.

9.5 Leistungsmessung

Die Messung der elektrischen Leistung des Elektrokessels erfolgt auf der Sekundärseite des Elektrokessel-Schalttransformators. Da die direkt beheizten Rohre des Elektrokessels eine symmetrische Last in Sternschaltung bilden, ist eine einphasige Messung zur Leistungsbestimmung ausreichend. Die Ausgangsspannung des Transformators von 80 - 140 V wird einem Wirkleistungsmeßgerät (Anschluß nach DIN 43807 Nr. 4251) direkt zugeführt. Die Strommessung ist durch einen hochpräzisen Stromwandler realisiert. Dieser wird direkt um das Stromschienenpaket einer Phase montiert und ist durch Antimagnetisches Metall gegen magnetische Störfelder abgeschirmt. Da der Widerstand in der Stromschleife durch die Messung nur um 10 Ω erhöht wird, kann eine Erwärmung durch den Strom ausgeschlossen werden. Die hier eingesetzte Kombination von Stromwandler und Wirkleistungsmeßgerät erreicht eine Gesamtgenauigkeit von 0.2 % des Endwertes. Das Normausgangssignal dieser Messung besitzt eine Stromstärke von 0 - 20 mA. Hierbei entsprechen 20 mA einer Transformatorleistung von 4 MW.

10 Datenerfassung und -visualisierung

Sämtliche Meßwerte werden mit Hilfe einer zentralen Datenerfassungsanlage der Firma Hewlett-Packard (Typ HP 3852S) aufgenommen und gespeichert. Weiterhin werden die zur Einstellung aller Versuchsparameter notwendigen Anzeigen in einem Blindschaltbild angezeigt und zusätzlich eine Auswahl von Meßgrößen mit einem Multireg-Punktdrucker erfaßt, so daß der Versuchsablauf kontinuierlich verfolgt werden kann.

Auch das Frontend-Gerät der Datenerfassungsanlage, ein programmierbares Datenerfassungssystem, stammt von Hewlett-Packard (Typ HP 3852A). Es besteht aus einem Gehäuse mit integriertem Voltmeter und insgesamt 7 Scannerkarten mit jeweils 20 Meßeingängen. Die ersten fünf Scannerkarten sind für die Messung von Thermospannungen vorgesehen. Bis auf die im Blindschaltbild angezeigten Temperaturmeßwerte, sind alle weiteren Thermoelemente direkt mittels Ausgleichsleitungen an die Datenerfassungsanlage angeschlossen. Auf jeder der fünf Temperaturmeßkarten ist eine elektrische Thermoelementvergleichsstelle zur Nullpunktkompensation angeordnet, deren Ausgleichsleitung bis zum Anschlußblock der zugehörigen Scannerkarte geführt ist.

Die Thermoelemente, deren Werte im Blindschaltbild angezeigt werden, sind mit einer Meßumformer-Karte, die mit einer Thermoelementvergleichsstelle ausgerüstet ist, verbunden. Mit Hilfe dieser Karte wird die Thermospannung in Abhängigkeit vom Meßbereich in ein genormtes Stromsignal mit Werten zwischen 4 - 20 mA umgewandelt. Über eine nachgeschaltete Meßadapterkarte steht dann das umgewandelte Signal für weitere Bearbeitungsschritte (z.B. Umformung im Meßwertrechner, Speicherung in der Meßwerterfassungsanlage, Anzeige oder Protokollierung auf einem Schreiber) zur Verfügung. Bis auf die direkt angeschlossenen Thermoelemente müssen sämtliche andere Meßgrößen (Temperaturen des Blindschaltbildes, Drücke, Dif-

ferenzdrücke, Kesselleistung) als Spannungen vorliegen. Hierzu werden die Stromsignale mittels einer Strom-Spannungsumsetzung, die in Form eines in die Eingangsbuchse der Anschlußplatte eingelöteten $10\ \Omega$ Widerstandes realisiert ist, in Spannungen umgewandelt.

Die Karten 6 und 7 dienen zur Aufnahme der Signale der übrigen Meßgeräte (z.B. Druck-, Differenzdruck- und Leistungsmessung). Sie sind bis auf die Temperaturvergleichsstelle baugleich zu den ersten fünf Karten. Die Meßgeräte, bei denen Meßwertaufnehmer und -wandler in einem Gerät integriert sind, liefern je ein Ausgangssignal zwischen 4 - 20 mA, daß anschließend wieder in eine Spannung umgewandelt wird (s. o.).

Neben der Erfassung der Meßdaten ermöglicht die Datenerfassungsanlage weiterhin die Darstellung, Umrechnung und Verarbeitung der registrierten Werte. Diese können Online auf dem Monitor (z.B. in Tabellenform, in einer Prinzipskizze der Versuchsanlage, als Zeit- oder beliebige andere Plots) dargestellt werden. Hierzu dient das Softwarepaket DIA/DAGO [GFS-941, GFS-942] der Gesellschaft für Strukturanalyse (GfS) aus Aachen, das auf dem zur Erfassungsanlage gehörenden Rechner installiert ist.

Literaturverzeichnis

- [GFS-941] „*Handbuch DIA - Version 5*“, Gesellschaft für Strukturanalyse (GfS), Aachen, 1994.
- [GFS-942] „*Handbuch DAGO - Version 5*“, Gesellschaft für Strukturanalyse (GfS), Aachen, 1994.
- [HIC-95] E. F. Hicken, H. Jaegers, A. Schaffrath. „*The Study of Effectiveness of the Emergency Condenser of the BWR 600/1000 in the NOKO Test Facility*“, IAEA Technical Committee Meeting „Progress, Design, Research and Development and Testing of Safety Systems for Advanced Water Cooled Reactors“, Piacenza 16. - 19. Mai 1995.
- [PAC-951] C. Palavecino, K. D. Werner, J. Wolters, K.-H. Escherich. „*NOKO - Ein thermodynamischer Versuchsstand zum Testen passiver Komponenten*“, Jahrestagung Kerntechnik, Nürnberg, 17. - 19. Mai 1995.
- [PAC-952] C. Palavecino. „*The Dimensioning of the Emergency Condenser and Passive Pressure Pulse Transmitters*“, IAEA Technical Committee Meeting „Progress in Design, Research and Development and Testing of Safety Systems for Advanced Water Cooled Reactors“, Piacenza 16. - 19. Mai 1995.

Jül-3167
Januar 1996
ISSN 0944-2952